

ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

1905 г. ТОМЪ 6 No. 1

Успѣхи акустики за послѣднія десять лѣтъ



П. Н. Лебедева[1]).

Изъ всѣхъ областей физики за послѣднее десятилѣтіе акустика менѣе другихъ привлекала къ себѣ вниманіе изслѣдователей, но все-же число оригинальныхъ работъ, появившихся за это время, довольно велико; такъ въ *Fortschritte der Physik* отъ 1893 по 1903 годъ реферировано 353 работы по физической акустикѣ (не считая работъ по физіологической акустикѣ). Сдѣлать обзоръ всѣмъ этимъ работамъ, прослѣдить всѣ развѣтвленія, по которымъ идутъ изслѣдователи, конечно, не представляется возможнымъ, а потому мы ограничимся только тѣми изслѣдованіями[2]), которыя за это время привели къ болѣе или менѣе законченнымъ результатамъ. Въ нашемъ обзорѣ мы ограничимся физической акустикою, оставляя въ сторонѣ физіологическую акустику (воспріятіе звука ухомъ, механизмъ человѣческаго голоса и т. д.), а также усовершенствованія въ техническихъ акустическихъ приборахъ (телефонѣ, фонографѣ, музыкальныхъ инструментахъ). Для большаго удобства мы можемъ разбить задачи физической акустики на слѣдующія группы:

[1]) Изъ лекцій „Современныя задачи физики", читанныхъ авторомъ въ Императорскомъ Московскомъ Университетѣ въ 1903 году.

[2]) Въ настоящемъ обзорѣ ссылки на источники опущены и указанъ лишь годъ опубликованія работы: интересующіеся оригинальными работами легко могутъ найти необходимыя указанія въ *Fortschritte der Physik*.

1) Источники высокихъ звуковъ,
2) Звуковая волна въ воздухѣ,
3) Движеніе звука въ газахъ,
4) Дисперсія звуковыхъ волнъ,
5) Собственныя колебанія упругихъ системъ,
6) Разныя изслѣдованія по акустикѣ.

Теперь обратимся къ разсмотрѣнію достигнутыхъ результатовъ по группамъ.

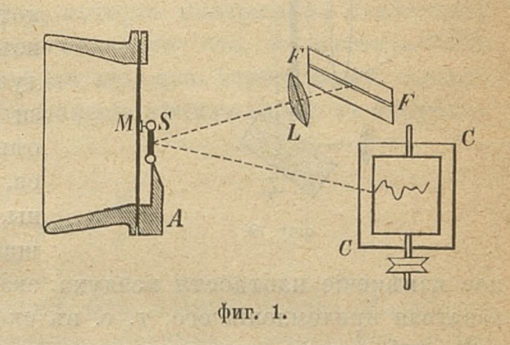
1. *Источники высокихъ звуковъ и опредѣленія числа ихъ колебаній.* Въ 1897 году Штумпфъ и Мейеръ сдѣлали интересное наблюденіе, что методъ субъективнаго опредѣленія высоты тѣхъ звуковъ, которыя лежатъ у предѣла слышимости и выше его ($n > 15000$ колебаній въ секунду), можетъ вести къ очень значительнымъ погрѣшностямъ. Это наблюденіе дало толчокъ какъ къ устройству новыхъ приборовъ для высокихъ звуковъ, такъ и къ выработкѣ методовъ опредѣленія числа ихъ колебаній. Изъ всѣхъ способовъ (непосредственной записи, фотографированія, дрожанія источника и т. д.) самымъ удобнымъ и пригоднымъ оказался извѣстный методъ „*пыльныхъ фигуръ Кундта*". Р. Кёнигъ (1899) построилъ серію камертоновъ, изъ которыхъ самый малый давалъ въ трубкѣ (въ воздухѣ при 20°Ц) пыльныя фигуры съ разстояніемъ въ 1·96 mm. между узлами, что при скорости звука въ 342·6 m/sec. соотвѣтствуетъ 90000 полнымъ или 180000 простымъ колебаніямъ въ секунду. Эдельманъ (1900 г.) построилъ воздушный свистокъ (такъ называемый „свистокъ Гальтона") въ формѣ маленькаго паровознаго свистка, у котораго внутренній объемъ колпачка можно измѣнять поршнемъ, и нашелъ, что при достаточно малыхъ объемахъ возможно еще получать пыльныя фигуры съ разстояніемъ въ 2 mm между узлами, т. е. получать звуки, число полныхъ колебаній которыхъ 85000, а число простыхъ 170000 въ секунду. Какъ источникъ высокихъ звуковъ свистокъ Эдельмана заслуживаетъ предпочтенія передъ камертонами Кёнига, такъ какъ, давая звукъ приблизительно одинаковой силы съ камертономъ, онъ звучитъ непрерывно и въ немъ легко въ значительныхъ предѣлахъ (напр. отъ 170000 до 15000 простыхъ колебаній) мѣнять высоту звука [1]).

---

[1]) Такимъ образомъ какъ трубы, такъ и камертоны позволяютъ намъ получать всѣ акустическія колебанія, начиная отъ тѣхъ, которыя лежатъ на нижнемъ предѣлѣ слышимости, и кончая тѣми, которыя лежатъ значительно дальше

Это новое усовершенствованіе источниковъ звука позволяетъ намъ воспользоваться воздушными волнами, длина которыхъ меньше одного центиметра, не только для болѣе удобной демонстраціи диффракціи волнъ, но, что гораздо важнѣе, и для изслѣдованія свойствъ газовъ при такихъ быстрыхъ колебаніяхъ: если и для такихъ короткихъ волнъ воздухъ при атмосферномъ давленіи еще представляетъ собою непрерывную среду, такъ какъ свободный путь его молекулъ менѣе одной десятитысячной доли этихъ волнъ, то все-таки вопросъ объ отличіи скорости этихъ волнъ и ихъ затуханія въ газахъ отъ соотвѣтствующихъ величинъ для рѣдкихъ колебаній остается открытымъ и отвѣтъ на него можетъ и долженъ дать только непосредственный опытъ.

2. *Звуковая волна въ воздухѣ; ея форма, сила и давленіе.* Приложеніе фотографіи къ записыванію звуковыхъ колебаній дало возможность физіологу Гартману съ замѣчательною отчетливостью регистрировать такія сложныя формы волны, какъ тѣ, которыя вѣтствуютъ звукамъ человѣческаго голоса. Перепонка *M* (фиг. 1) такъ называемаго „вибраціоннаго манометра", выгибаясь подъ вліяніемъ волны въ ту или другую сторону, двигаетъ верхнюю часть очень маленькаго и легкаго зеркальца *S*, нижній конецъ котораго укрѣпленъ неподвижно на подставкѣ *A*. Пучекъ свѣта, идущій отъ горизонтальной щели *FF* чрезъ линзу *L*, отражается отъ зеркальца *S* и даетъ дѣйствительное изображеніе горизонтальной щели *FF* на вертикальномъ прорѣзѣ, сдѣланномъ въ стѣнкѣ цилиндра *CC*; внутри цилиндра *CC* вращается барабанъ, обтянутый свѣточувствительною пленкою. При дрожаніи перепонки *M* отраженный пучекъ свѣта движется вверхъ и внизъ и записываетъ свой слѣдъ на пленкѣ: пучекъ свѣта чертитъ кривую линію, толщина которой меньше 0·1 mm, при амплитудѣ въ нѣсколько миллиметровъ. Попытки примѣнить для наблюденія прогибанія перепонки, какъ ми-

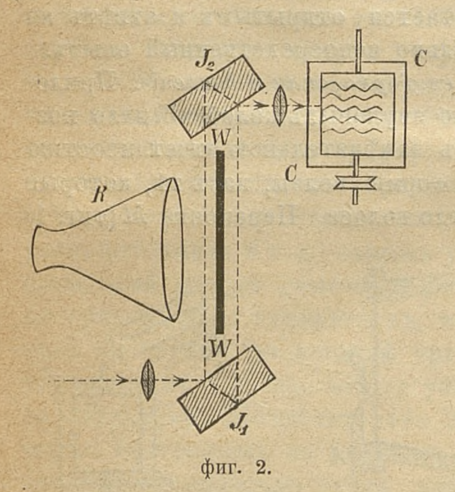


фиг. 1.

высшаго предѣла слышимости; числа этихъ колебаній относятся какъ 1 : 6000 и обнимаютъ собою 12 октавъ.

кроскопъ, такъ и явленія интерференціи свѣта (Webster 1898), которыя можно также регистрировать фотографическимъ путемъ, не дали большей чувствительности, чѣмъ указанный зеркальный способъ, и вдобавокъ менѣе удобны, чѣмъ этотъ послѣдній.

Рапсъ (1893) предложилъ способъ непосредственно наблюдать сжиманіе и разрѣженіе воздуха вблизи отражающей стѣнки. Свѣтъ, идущій отъ электрическаго фонаря, падаетъ на пластинку J_1 рефрактометра Жамена (фиг. 2), раздѣляется на два параллельныхъ пучка, которые при помощи второй пластинки рефрактометра J_2 соединяются въ рядъ интерференціонныхъ полосъ, перпендикулярныхъ щели цилиндра *CC*, внутри котораго движется свѣточувствительная пленка. Интерферирующіе пучки раздѣлены другъ отъ друга большою металлическою стѣнкою *WW*, на которую съ одной стороны изъ рупора *R* падаетъ изслѣдуемая звуковая волна: вблизи этой неподвижной стѣнки, отъ которой звукъ отражается, образуются стоячія волны, и воздухъ тутъ то сгущается, то разрѣжается; всякое измѣненіе плотности воздуха сказывается въ измѣненіи показателя преломленія его, т. е. въ скорости движенія въ немъ свѣтовой волны, благодаря чему интерференціонныя полосы въ рефрактометрѣ перемѣщаются перпендикулярно своему направленію, т. е. параллельно щели цилиндра *CC* и отмѣчаютъ свое смѣщеніе въ видѣ ряда параллельныхъ кривыхъ на движущейся свѣточувствительной пленкѣ.



фиг. 2.

Методъ Германа имѣетъ то преимущество передъ методомъ Рапса, что онъ гораздо болѣе чувствителенъ (даетъ большія амплитуды кривыхъ), а самыя кривыя вычерчены тонкимъ свѣтовымъ пучкомъ, и позволяетъ наблюдать всѣ детали, тогда какъ въ способѣ Рапса кривыя чертятся нерѣзко ограничеными интерференціонными полосами. Необходимымъ требованіемъ въ способѣ Германа является условіе, чтобы собственный тонъ мембраны лежалъ значительно выше тона изслѣдуемой волны,

такъ какъ только въ этомъ случаѣ прогибъ мембраны будетъ въ каждый моментъ соотвѣтствовать давленію волны, и этому требованію оказывается легко удовлетворить на практикѣ для самыхъ высокихъ регистровъ человѣческаго голоса. Для звуковъ еще болѣе высокихъ способъ Германа неприложимъ—для нихъ придется пользоваться способомъ Рапса, который принципіально пригоденъ для звуковъ любой высоты; пользуясь имъ, мы легко можемъ опредѣлить въ абсолютной мѣрѣ амплитуду колебаній даже неслышной ухомъ волны, если знаемъ оптическій показатель преломленія воздуха, длину пучка свѣта, на которую дѣйствуетъ звуковая волна, и величину смѣщенія интерференціонныхъ полосъ.

Въ вопросѣ объ абсолютномъ измѣреніи силы звука за истекшее десятилѣтіе былъ сдѣланъ существенный шагъ впередъ. Лордъ Релей (1902) показалъ теоретически, а В. Я. Альтбергъ (1903) убѣдился непосредственнымъ опытомъ, что звуковыя волны, падая на отражающую ихъ стѣнку, производятъ на эту послѣднюю, *звуковое давленіе*, p, которое совершенно аналогично свѣтовому давленію и также зависитъ отъ количества энергіи E, падающей въ теченіе 1 sec. на 1 qcm отражающей поверхности и отъ скорости распространенія v этихъ волнъ въ окружающей средѣ:

$$p = 2\frac{E}{v}.$$

Это давленіе p не зависитъ отъ формы волны. Альтбергъ располагалъ свой опытъ такимъ образомъ: волны отъ конца кундтовой трубки, непрерывно возбуждаемой двигателемъ, падали на отражающую стѣнку, размѣры которой были велики по сравненію съ длиною падающей на нее волны. Въ срединѣ стѣнки было сдѣлано круглое отверстіе, въ которое свободно, не касаясь краевъ, но съ очень небольшимъ кольцевымъ зазоромъ входилъ поршень, прикрѣпленный къ коромыслу крутильныхъ вѣсовъ. Какъ только на стѣнку начиналъ падать звукъ, волны начинали давить на стѣнку и на поршень, отчего этотъ послѣдній двигался въ направленіи падающаго на него звука, закручивая проволоку крутильныхъ вѣсовъ. Измѣряя уголъ закручиванія, легко было опредѣлить величину звукового давленія, а отсюда и количество падающей въ секунду энергіи; оказалось,

что при непрерывномъ звучаніи кундтовой трубки, дающей звукъ, по силѣ нестерпимый для человѣческаго уха, все количество энергіи, излучаемой концомъ трубки въ формѣ звуковыхъ волнъ, не болѣе 0·02 лошадиной силы, а звуковое давленіе, производимое на стѣнку, находящуюся на 50 cm. отъ конца трубки, едва достигаетъ 0·0002 mm. ртутнаго столба, т. е. меньше 0·2 милліонныхъ долей атмосферы.

Опредѣленіе абсолютной силы звука при помощи звукового давленія примѣнимо только для очень сильныхъ звуковъ, такъ какъ случайныя разницы давленій по обѣ стороны отражающей стѣнки, обусловленныя неизбѣжными токами воздуха въ комнатѣ, легко достигаютъ тѣхъ величинъ, которыя имѣютъ звуковое давленіе при слабыхъ звукахъ. Этотъ методъ звукового давленія, теорія котораго вполнѣ выработана, самъ не обладая большой чувствительностью, можетъ однако послужить съ пользою для провѣрки абсолютныхъ показаній „диска Релея" [1]), теорія котораго была дана Кёнигомъ (1891) лишь въ первомъ приближеніи, а попытка экспериментально провѣрить ее была сдѣлана Двельшауерсъ-Дери (1891) только для дѣйствія стаціонарнаго (не колеблющагося) воздушнаго потока; вотъ почему дискомъ Релея, приборомъ удобнымъ для измѣреній, до настоящаго времени пользовались только для опредѣленія относительной силы звука.

Какъ попытку обнаружить движеніе воздуха въ пучности стоячей волны слѣдуетъ отмѣтить пріемъ Дэвиса (1900), который воспользовался очень маленькимъ анемометромъ, построеннымъ по образцу анемометра Робинсона, употребляемаго метеорологами для измѣренія скорости вѣтра; въ какой мѣрѣ соотвѣтствуютъ показанія анемометра Дэвиса истиной средней скорости колебаній воздушныхъ частицъ остается не выясненымъ, и во всякомъ случаѣ этотъ способъ не такъ чувствителенъ и не такъ удобенъ, какъ дискъ Релея.

Помимо давленія на отражающія стѣнки, звуковыя волны производятъ также механическія дѣйствія на соотвѣтствующіе

---

[1]) Въ 1876 году Релей показалъ что дискъ, могущій вращаться около своего діаметра и поставленый такъ, что его плоскость составляетъ нѣкоторый уголъ съ плоскостью звуковой волны, идущей мимо него, испытываетъ вращеніе и стремится стать параллельно плоскости волны.

имъ резонаторы, вращая и двигая ихъ; эти явленія были изслѣдованы мною (1897), и законы дѣйствія звуковыхъ волнъ на резонаторы оказались, какъ и въ случаѣ звукового давленія, тождественными съ соотвѣтствующими законами дѣйствія электромагнитныхъ волнъ на электрическіе резонаторы. Эта аналогія указываетъ на глубокую связь, которая существуетъ между колебаніями столь различными по ихъ физической природѣ.

3. *Движеніе звука въ воздухѣ и въ газахъ: скорость звука и его распространеніе.* При точномъ опредѣленіи абсолютной величины скорости звука приходится считаться съ цѣлымъ рядомъ затрудненій. Желая измѣрить эту скорость съ точностью до $\pm$ 0·1 m/sec, мы должны опредѣлить температуру воздуха на всемъ пробѣгѣ волны съ точностью до $\pm$ 0·1°Ц. и влажность его до $\pm$ 1 mm., что совершенно невозможно въ свободномъ воздухѣ и очень трудно въ длинной трубѣ; въ этихъ двухъ случахъ обыкновенно пользуются по способу Реньо звукомъ пистолета, который представляетъ собою сложную смѣсь колебаній разныхъ періодовъ: при движеніи волны въ воздухѣ колебанія съ малыми періодами больше слабѣютъ, чѣмъ колебанія съ большими періодами, а поэтому при большихъ пробѣгахъ не только амплитуда, но и самая форма взрывной волны измѣняется, чѣмъ и затрудняется опредѣленіе момента прохожденія ея гребня. Въ способѣ Квинке и Кундта опредѣляютъ періодъ источника звука, что возможно сдѣлать съ точностью до одной десятитысячной доли, и измѣряютъ длину соотвѣтствующей стоячей волны въ короткой трубкѣ; опредѣлить температуру и влажность воздуха въ этомъ случаѣ не представляетъ затрудненія, но является необходимость ввести поправку на діаметръ трубы—для приведеніи измѣренной скорости звука къ скорости его въ свободномъ воздухѣ—поправку, указанную впервые Кирхгоффомъ и многократно провѣренную на опытахъ съ трубками разныхъ діаметровъ. Слѣдуетъ замѣтить еще, что скорость звука зависитъ отъ амплитуды волны (Бюртонъ, 1893, Віель, 1898—99), и въ случаѣ взрывныхъ волнъ вблизи источника, гдѣ амплитуда очень велика, эта скорость распространенія волны можетъ быть до трехъ разъ больше нормальной скорости распространенія звука; тѣ амплитуды, которыми обыкновенно пользуются при опытахъ надъ скоростью звука, настолько малы, что онѣ не сказываются замѣтнымъ образомъ на величинѣ этой скорости.

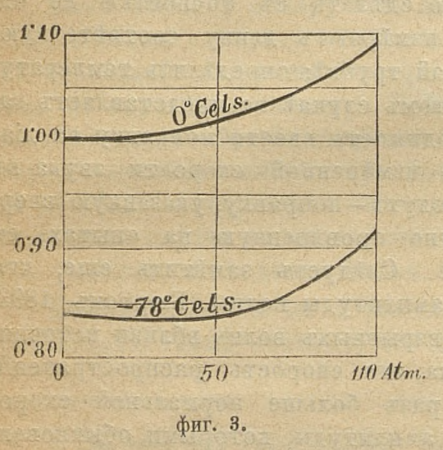
Опредѣленія, сдѣланныя за истекшее десятилѣтіе разными наблюдателями, дали для скорости звука въ сухомъ воздухѣ при 0°Ц. слѣдующія величины:

Low (1894)	331·4	m/sec	способъ Квинке.
Гезехусъ (1895).	333·2	"	въ свободн. воздухѣ.
Violle et Vautier (1900) . . .	331·1	"	способъ Реньо.
Тѣ же (поправка Brilloina) .	331·3	"	"
Stewens (1902)	331·3	"	способъ Квинке.

Собирая данныя, полученныя разными наблюдателями, мы приходимъ къ заключенію, что въ воздухѣ при 0°Ц. звуки среднихъ регистровъ распространяются со скоростью

$$v = 331{\cdot}3 \pm 0{\cdot}1 \text{ m/sec.}$$

Открытымъ остается до настоящаго времени вопросъ о вліяніи періода колебанія на скорость распространенія его въ воздухѣ, вопросъ, который ни въ работахъ Эньяна и Шабо (1895), ни въ работѣ Мюлера (1903) не получилъ рѣшенія; этого рѣшенія мы должны ожидать отъ измѣренія скорости возможно короткихъ звуковыхъ волнъ, для опредѣленія которой Нардорфъ (1900) указалъ изящный методъ, аналогичный методу Физо для свѣта: очень короткія волны отъ свистка Гальтона проходятъ между двумя зубцами колеса, падаютъ на вогнутое зеркало съ большимъ радіусомъ кривизны и, отразившись, собираются вновь, проходя между зубцами того же колеса, и падаютъ на чувствительное пламя: если мы начнемъ двигать колесо достаточно быстро, то звукъ, пробѣгающій отъ свистка къ пламени, встрѣтитъ около послѣдняго не промежутокъ между зубцами, а самый зубецъ, который защититъ пламя отъ звука и позволитъ ему горѣть спокойно, тогда какъ при еще большей скорости звукъ попадаетъ снова между зубцами и будетъ дѣйствовать на пламя и т. д.; наблюдая скорости колеса, при которыхъ пламя го



фиг. 3.

ритъ спокойно, и зная разстояніе между зубчатымъ колесомъ и зеркаломъ, легко вычислить скорость звука. Нардорфъ, рекомендуетъ описанный способъ лишь, какъ демонстрацію принципа Физо; до настоящаго времени никакихъ опредѣленій скорости звука этимъ способомъ сдѣлано не было.

Пользуясь методомъ Кундта, Витковскій (1899) показалъ, что скорость звука зависитъ отъ давленія воздуха: если скорость при 0° и 1 atm. обозначить чрезъ единицу, то получается слѣдующая таблица (фиг. 3):

	0°	— 78°
1 atm.	1·000	0·844
50 „	1·021	0·837
110 „	1·077	0·913

Эта работа Витковскаго указываетъ на то, что та элементарная кинетическая теорія газовъ, по которой скорость звука не должна зависѣть отъ давленія газа, недостаточна для большихъ давленій.

Стивенсъ (1902) по способу Квинке опредѣлилъ скорости звука въ воздухѣ при разныхъ температурахъ, а также измѣрилъ скорости звука въ парахъ нѣкоторыхъ жидкостей. Въ таблицѣ приведены температуры, скорости звука и вычислены отношенія k скрытой теплоты газа при постоянномъ давленіи къ скрытой теплотѣ его при постоянномъ объемѣ.

	t	v	k
воздухъ	0°	331·3	1·401
„	100	386·5	1·399
„	950	686·0	1·340
этиловый эфиръ	100	212·6	1·112
метиловый спиртъ . . .	„	350·3	1·256
этиловый спиртъ. . . .	„	272·8	1·134
сѣроуглеродъ	„	223·2	1·234
бензолъ	„	205·0	1·105
хлороформъ	„	171·4	1·150
іодъ.	185	140·0	1·303.

Эта работа даетъ для термодинамики газовъ очень важный результатъ, показывая что отношеніе k для воздуха не есть величина постоянная, какъ то принималось до настоящаго времени.

Къ числу задачъ, для рѣшенія которыхъ современныя средства измѣренія еще недостаточны, принадлежитъ и задача о законѣ обратныхъ квадратовъ разстояній. Наблюденія Дуфа (1898—1900) заставляютъ предполагать, что высокіе тоны поглощаются въ воздухѣ болѣе, чѣмъ низкіе, согласно съ наблюденіями Віоля и Вотье (1895). Во всякомъ случаѣ коэффиціентъ этого поглощенія для звуковъ средняго регистра очень малъ, и звукъ пробѣгаетъ сотни метровъ безъ замѣтнаго поглощенія; надо ожидать, что наблюденія съ возможно короткими волнами дадутъ болѣе рѣзкія отступленія отъ закона квадратовъ разстояній.

Передъ современною акустикою открывается широкое поле приложенія методовъ, которыми пользуются для акустическаго изслѣдованія воздуха, къ изслѣдованію другихъ газовъ и паровъ: здѣсь намѣчается путь, по которому мы можемъ ближе подойти къ рѣшенію нѣкоторыхъ вопросовъ кинетической теоріи газовъ.

(Окончаніе слѣдуетъ).

Механизмъ вольтовой дуги.

П. А. Зилова

1. Вольтова дуга, открытая болѣе ста лѣтъ тому назадъ, долго оставалась лишь предметомъ удивленія для ученыхъ; въ послѣднія двадцать или тридцать лѣтъ она была изучена съ практической стороны [1]), но объясненія механизма вольтовой дуги не было; этому нечего удивляться, такъ какъ до сихъ поръ

---

[1]) См. объ этомъ ст. А. А. Эйхенвальда „Вольтова дуга“. *Физ. Обозр.* т. 3 (1902) апр. 149.

въ ученіи въ электричествѣ не было руководящей идеи; но теперь, когда такая идея въ видѣ электронной гипотезы найдена, естественно было ждать и объясненія механизма вольтовой дуги, одного изъ замѣчательнѣйшихъ электрическихъ явленій; и дѣйствительно, почти одновременно Дж. Дж. Томсонъ, В. Ѳ. Миткевичъ, Штаркъ и др. [1]) предложили тождественныя объясненія, сущность коихъ сводится къ тому, что вольтова дуга есть пучекъ катодныхъ лучей, и слѣд. явленіе, происходящее въ вольтовой дугѣ, ничѣмъ не отличается отъ того, которое происходитъ въ круксовской трубкѣ.

2. Сравнивая вольтову дугу съ электрическою искрою, нетрудно подмѣтить полное сходство этихъ двухъ явленій, какъ по условіямъ ихъ образованія, такъ и по ихъ свойствамъ: электроды надо поддерживать при извѣстной разности потенціаловъ и разстояніе между электродами не должно превосходить извѣстнаго предѣла. Отсюда заключаемъ, что вольтова дуга есть въ сущности не что иное, какъ электрическая искра, и что какъ въ искрѣ происходитъ электрическій разрядъ, который называется *искровымъ разрядомъ*, такъ и въ вольтовой дугѣ происходитъ электрическій разрядъ, который мы будемъ называть *дуговымъ разрядомъ*.

Различіе между этими двумя разрядами больше количественное, чѣмъ качественное: тогда какъ при искровомъ разрядѣ разность потенціаловъ на электродахъ (искровой потенціалъ) измѣряется въ сотняхъ и тысячахъ вольтовъ, а токъ достигаетъ лишь нѣсколькихъ миллиамперовъ, въ дуговомъ разрядѣ разность потенціаловъ электродовъ (дуговой потенціалъ) бываетъ около 40 вольтовъ, а токъ—въ нѣсколько амперовъ.

Дуговой разрядъ обыкновенно осуществляютъ слѣдующимъ образомъ: составляютъ цѣпь малаго сопротивленія, въ которую включаютъ сильный источникъ тока (до 100 volt); концы этой цѣпи соединяютъ съ углями; если угли сблизить до соприкосновенія и такимъ образомъ замкнуть цѣпь, то угли раскалятся, и если затѣмъ ихъ развести на нѣкоторое разстояніе (отъ 2

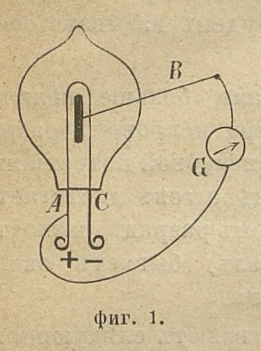
---

[1]) *J. J. Thomson*, „Conduction of Electricity through Gases", 1903. *B. Миткевичъ*, „Къ вопросу о механизмѣ в. д.", „Объ условіяхъ возникновенія в. д.". Журн. русск. Физ. Хим. Общ. 1903. *J. Stark*, „Zur Kenntnis des Lichtbogens". (Drude An., Bd. 12. 1903).

до 10 mm), то отъ этого токъ не прервется, а между углями образуется вольтова дуга.

Угли, между которыми находится вольтова дуга, сильно нагрѣваются, но различно; такъ Віоль нашелъ, что положительный уголь (анодъ) имѣетъ температуру 3500° Ц., а отрицательный (катодъ) 2700°; сама дуга—по измѣреніямъ Россетти—имѣетъ еще болѣе высокую температуру, именно 4800°; но дуга состоитъ изъ газовъ и потому выдѣляетъ меньше свѣта, чѣмъ черные угли. Наружный видъ углей тоже различенъ: на концѣ анода образуется углубленіе, такъ называемый *кратеръ*, а катодъ заостряется.

3. Итакъ въ вольтовой дугѣ мы имѣемъ разрядъ между *раскаленными* электродами. Разсѣяніе электричества съ раскаленнаго угля было открыто Эдиссономъ и названо впослѣдствіи *явленіемъ Эдиссона*; теперь оно обстоятельно изучено. Вотъ опытъ Флеминга, показывающій явленіе Эдиссона. Въ калильной лампочкѣ между вѣтвями *A* и *C* (фиг. 1) угольной нити помѣщается изолированная металлическая пластинка *B*; если въ лампочку пустимъ токъ, который бы раскалилъ ея угольную нить, и положительный конецъ *A* этой нити соединимъ съ *B* чрезъ гальванометръ, то послѣдній показываетъ довольно сильный токъ (2 — 4 миллиамперовъ), направляющійся отъ *A* къ *G* и *B*; если же *B* соединить съ *C*, то тока почти нѣтъ.



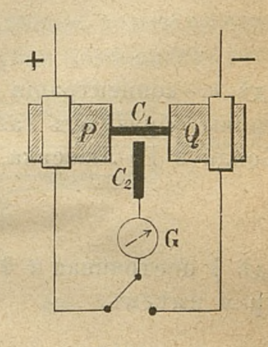
Фиг. 1.

Описанный опытъ показываетъ, что съ отрицательной вѣтви угля отрицательные электроны легко отдѣляются и, перемѣщаясь къ пластинкѣ *B*, замыкаютъ токъ въ нашей цѣпи. Правильность такого толкованія подтверждается тѣмъ, что если отрицательную вѣтвь угольной нити окружить трубочкою (металлическою или стеклянною), преграждающею свободное перемѣщеніе электроновъ отъ *C* къ *B*, то токъ въ нашей цѣпи прекращается.

Итакъ близъ поверхности раскаленнаго тѣла газъ іонизируется, отъ него отдѣляются отрицательные электроны; измѣренія показали, что эти электроны отдѣляются въ такомъ количествѣ, которое соотвѣтствуетъ одному амперу на □ cm. раскаленной поверхности, и что количество испускаемыхъ электроновъ очень быстро возростаетъ съ температурою; такимъ образомъ

при температурѣ отрицательнаго угля въ вольтовой дугѣ размѣръ испусканія электроновъ, конечно, соотвѣтствуетъ большему числу амперовъ съ □ cm. нагрѣтой поверхности.

Явленіе Эдиссона происходитъ не только въ разрѣженномъ пространствѣ, но, какъ показалъ Миткевичъ, и въ воздухѣ атмосфернаго давленія. Вотъ опытъ Миткевича. Въ каналы толстыхъ углей P и Q (фиг. 2) вставляется тонкій уголь C_1, который накаливается токомъ; уголь C_2, конецъ котораго помѣщается противъ середины угля C_1, соединяется чрезъ гальванометръ G или съ положительнымъ углемъ P или съ отрицательнымъ углемъ Q; въ первомъ случаѣ чрезъ гальванометръ идетъ замѣтный токъ, во второмъ - ничтожный.



фиг. 2.

4. Прежде, чѣмъ итти дальше, спросимъ себя какимъ образомъ электроны выдѣляются изъ горячаго тѣла? Простѣйшее объясненіе этому процессу даетъ электронная теорія, основанная на гипотезѣ, что всѣ тѣла содержатъ большое число электроновъ, которые съ громадными скоростями движутся по всѣмъ направленіямъ; они образуютъ собою родъ газа, заключеннаго внутри тѣла, и производятъ давленіе (при обыкновенной температурѣ доходящее до 30 и 40 atm.) на поверхность, которою ограничено тѣло; эти электроны удерживаются въ границахъ тѣла суммою притягательныхъ силъ между положительными и отрицательными электронами, влѣдствіе чего какъ-будто къ поверхности тѣла приложены силы, направленныя внутрь него. Если температура тѣла повышается, то кинетическая энергія содержащихся въ немъ электроновъ возростаетъ и нѣкоторые изъ нихъ пріобрѣтаютъ возможность преодолѣть силы, стремящіяся ихъ удержать внутри тѣла, и такимъ образомъ выходятъ въ свободное пространство, которое и іонизируется. Понятно, что одновременно внѣшніе электроны могутъ входить въ тѣло. Если электроны находятся въ стаціонарномъ состояніи, то должно существовать соотношеніе между концентраціями ихъ (т. е. числами электроновъ въ куб. cm.) внутри и внѣ тѣла; это соотношеніе нетрудно установить изъ разсмотрѣнія силъ, которымъ подвержены электроны. Пусть тѣло ограничено плоскостью перпендикулярною къ оси x; возьмемъ еще двѣ па-

раллельныя ей плоскости, одну внутри, другую внѣ тѣла; электрическій потенціалъ въ точкахъ внутренней плоскости пусть=0, а въ точкахъ внѣшней плоскости назовемъ V. Если обозначимъ X электрическую силу, дѣйствующую на каждый электронъ, и p—давленіе, производимое движущимися электронами, то можно написать

$$\frac{dp}{dx} = nX,$$

гдѣ n—концентрація свободныхъ электроновъ. Такъ какъ электроны образуютъ газъ, то ихъ давленіе опредѣляется закономъ Бойля и Гэ-Люссака, и потому

$$p = \beta n \theta,$$

гдѣ β постоянная и θ абсолютная температура. Изъ этихъ двухъ ур-ій имѣемъ

$$\frac{dn}{n} = \frac{X}{\beta\theta} dx;$$

откуда интегрированіемъ находимъ

$$\log \frac{n}{N} = -\frac{\omega}{\beta\theta},$$

гдѣ ω ($= \int Xdx$) есть работа, нужная для удаленія одного электрона изъ тѣла. Если же изъ тѣла удаляется граммо-молекула электроновъ и соотвѣтственную работу обозначимъ чрезъ Q, то

$$\frac{\omega}{\beta} = \frac{Q}{R},$$

гдѣ R постоянная газовъ ($= 2$, если Q выражено въ gr-cal.). Итакъ

$$n = Ne^{-Q/R\theta}$$

Въ единицу времени изъ □ cm. поверхности тѣла выходитъ не n электроновъ, заключающихся въ одномъ куб. cm., а nu, если чрезъ u назовемъ среднюю нормальную къ поверхности скорость электроновъ. Въ кинетической теоріи газовъ доказывается, что $u = \sqrt{R\theta/2m\pi}$, гдѣ m масса одного электрона. Такимъ образомъ

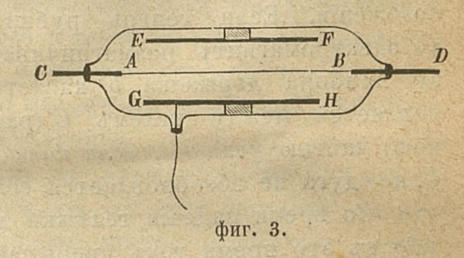
$$n = A\,\theta^{1/2} e^{-Q/R\theta}$$

Такъ какъ каждый электронъ, выходя изъ тѣла, уноситъ съ собою свой зарядъ ε, то плотность тока, идущаго изъ проволоки, нагрѣтой до θ^0, будетъ

$$j = n\varepsilon = B\,\theta^{1/2} e^{-Q/R\theta}$$

гдѣ B и Q постоянныя, имѣющія особыя значенія для каждаго тѣла.

Для провѣрки этой формулы Уильсонъ сдѣлалъ опыты со слѣдующимъ снарядомъ. Внутри разрядной трубки помѣщалась тонкая проволока AB (фиг. 3), окруженная металлическимъ цилиндромъ EH, представленнымъ въ разрѣзѣ. Проволока AB нагрѣвалась токомъ и соединялась съ отрицательнымъ полюсомъ батареи, положительный полюсъ которой соединялся чрезъ чувствительный гальванометръ съ цилиндромъ EH.



фиг. 3.

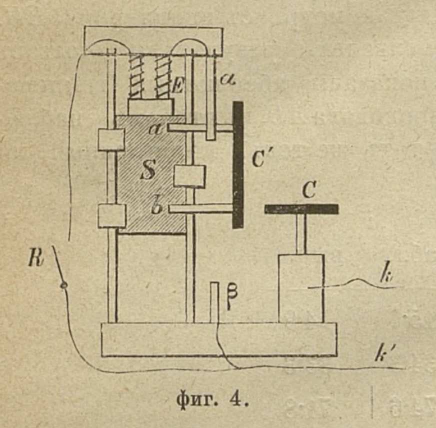
Въ прилагаемой табличкѣ приведены результаты опытовъ Уильсона; въ первомъ столбцѣ показаны абсолютныя температуры, до которыхъ нагрѣвалась проволока AB, въ второмъ—наблюдавшійся токъ, а въ третьемъ—тотъ же токъ, вычисленный по предыдущей формулѣ.

θ	i набл.	i выч.
1548	15·7	14·9
1681	34·3	33·3
1715	74·6	71·8
1649	152	153
1783	323	318
1818	638	645
1853	1280	1285

5. Теперь, возвращаясь къ вольтовой дугѣ, докажемъ, что существенное условіе ея возникновенія заключается въ томъ, чтобы отрицательный уголь былъ сильно нагрѣтъ, раскаленъ. Это доказывается слѣдующимъ опытомъ Миткевича.

Приборъ состоитъ изъ двухъ углей—горизонтальнаго C (фиг. 4) и вертикальнаго C'; послѣднiй укрѣпленъ на телѣжкѣ S при помощи металлическихъ держалокъ a и b; одинъ конецъ цѣпи соединенъ съ углемъ C, другой съ пружинами α и β. Опытъ начинается съ того, что телѣжку S поднимаютъ кверху такъ, чтобы верхняя держалка a прикасалась къ пружинѣ α и чтобы между горизонтальнымъ углемъ и нижнимъ концомъ вертикальнаго угля образовалась вольтова дуга; тогда элекромагнитъ E, включенный въ цѣпь, удерживаетъ телѣжку въ ея верхнемъ положенiи. Если теперь рубильникомъ R разомкнуть цѣпь, то электромагнитъ размагничивается и телѣжка падаетъ; внизу прибора держалка b касается пружины β и дуга возобновляется между углемъ C (раскаленнымъ) и верхнею (холодною) частью угля C', *если катодомъ служитъ раскаленный уголь* C, но дуга не возобновляется если катодомъ служитъ уголь C'.

Во время паденiя телѣжки дуга несомнѣнно прекращается ибо въ это время токъ прерывается); дуга сама собою, помимо прикосновенiя углей, возобновляется между *раскаленнымъ* катодомъ и анодомъ, даже холоднымъ.



фиг. 4.

Этотъ опытъ имѣетъ чрезвычайную важность для насъ, доказывая, что существенное условiе для возникновенiя вольтовой дуги заключается въ высокой температурѣ катода. Если это условiе соблюдено, то вольтова дуга образуется сама собою.

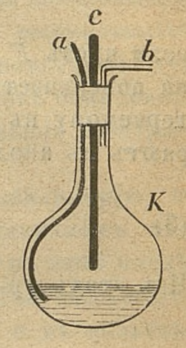
Обычный прiемъ для полученiя вольтовой дуги—сближенiе углей до соприкосновенiя—нуженъ вовсе не для того, чтобы замкнуть токъ, а для накаленiя катоднаго угля; если котодный уголь раскалить какъ-нибудь иначе, напр. въ горящей смѣси свѣтильнаго газа и кислорода, то дуга тоже сама зажигается.

Прежде, когда думали, что прикосновенiе углей существенное условiе для возникновенiя вольтовой дуги, было совершенно непонятно какимъ образомъ горитъ дуга съ перемѣнными токами, когда при каждомъ измѣненiи направленiя тока дуга совершенно гаснетъ и затѣмъ опять сама собою зажигается; те-

перь мы это легко объяснимъ себѣ: дѣло въ томъ, что по окончаніи полуперіода перемѣннаго тока имѣются на лицо условія, необходимыя для возобновленія дуги: оба угля раскалены; да къ тому же катодомъ является всегда уголь, бывшій въ предыдущій полуперіодъ анодомъ и потому особенно сильно нагрѣтый.

6. Итакъ условія возникновенія дугового разряда тѣ же, какъ условія разсѣянія заряда съ поверхности нагрѣтаго проводника: слѣдовательно *дуговой разрядъ состоитъ изъ потока отрицательно заряженныхъ частицъ, выбрасываемыхъ изъ раскаленнаго катода; двигаясь къ аноду и принося съ собою заряды, онѣ образуютъ конвективный электрическій токъ между электродами дуги.* Справедливость такого представленія о механизмѣ вольтовой дуги подтверждается рядомъ опытовъ Миткевича.

Первый опытъ былъ сдѣланъ съ вольтовою дугою между углемъ и ртутью. Колба *K* (фиг. 5), на днѣ которой налита ртуть, закрыта каучуковою пробкою; чрезъ послѣднюю проходятъ: проволока *a*, опускающаяся въ ртуть и соединенная съ однимъ полюсомъ динамомашины, уголь *c*, соединенный съ другимъ полюсомъ динамомашины, и трубка *b*, соединенная съ разрѣжающимъ насосомъ, при помощи котораго атмосфера въ колбѣ поддерживается разрѣженною. Между углемъ и ртутью образовывалась вольтова дуга. Если при этомъ ртуть служитъ анодомъ, то на ея поверхности у основаніи дуги образуется впадина, какъ будто дуга давитъ на поверхность анода; если же ртуть служитъ катодомъ, то на ея поверхности у основанія дуги образуется остроконечный бугорокъ высотою отъ 0·5 до 1 mm., какъ будто частицы катода отрываются и втягиваются въ дугу.



Фиг. 5.

Изъ этого опыта ясно видно, что катодныя частицы переносятся къ аноду и ударяютъ въ него. Ударяя въ анодъ, эти частицы или деформируютъ поверхность жидкаго анода (какъ въ только-что описанномъ опытѣ), или долбятъ твердый анодъ (напр. уголь) и выдалбливаютъ въ немъ кратеръ, на подобіе того, какъ струя песка, выбрасываемая съ большою силою изъ трубочки, попадая на стекло, выдалбливаетъ въ немъ углубленіе.

Катодныя частицы, ударяя въ анодъ, сообщаютъ ему свою

живую силу и тѣмъ самымъ нагрѣваютъ его. Этимъ объясняется происхожденіе столь высокой температуры анода.

7. Только-что описанный опытъ доказываетъ, что вольтова дуга образуется потокомъ частицъ, направленнымъ отъ катода къ аноду; но онъ не разрѣшаетъ вопроса о природѣ этихъ частицъ. Съ этою цѣлью Миткевичъ сдѣлалъ другой опытъ.

Назовемъ i токъ, питающій вольтову дугу, ε зарядъ каждой частицы, отрываемой отъ катода, и k число такихъ частицъ, проходящихъ въ одну секунду чрезъ поперечное сѣченіе дуги. Тогда конвективный токъ въ вольтовой дугѣ можно представить слѣдующимъ образомъ

$$i = k\varepsilon \tag{1}$$

если m означаетъ массу каждой частицы нашего потока и v — ея скорость, то въ одну секунду аноду сообщается энергія

$$W = {}^1/_2\, kmv^2; \tag{2}$$

если чрезъ F назовемъ силу, съ которою вольтова дуга давитъ на поверхность анода, то, приравнивая ее количеству движенія, теряемому въ одну секунду катодными частицами, которыя ударяютъ въ анодъ и затѣмъ остаются въ покоѣ, имѣемъ

$$F = kmv \tag{3}$$

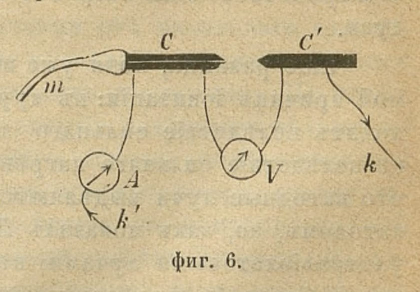
Изъ этихъ ур-ій мы находимъ

$$v = \frac{2W}{F} \quad \text{и} \quad \frac{\varepsilon}{m} = \frac{2Wi}{F^2} \tag{4}$$

Если бы удалось опредѣлить значенія v и ε/m, то мы получили бы возможность судить и о природѣ тѣхъ частицъ, потокъ которыхъ образуетъ вольтову дугу.

Для измѣренія величинъ, входящихъ въ правыя части ур-ій (4), дѣлался слѣдующій опытъ. Вольтова дуга получалась между горизонтально расположенными углями C и C' (фиг. 6), при чемъ первый — положительный уголь — былъ снабженъ продольнымъ каналомъ (въ 3 mm діаметра), образовавшимся послѣ удаленія фи-

тиля; лѣвый конецъ этого угля соединялся резиновою трубкою съ очень чувствительнымъ манометромъ. Токъ, питающій дугу, проходилъ чрезъ амперметръ A; концы углей, между которыми образовывалась вольтова дуга, соединялись съ вольтметромъ V. Произведеніе тока на разность потенціаловъ концовъ углей давало энергію W. Манометръ опредѣлялъ давленіе вольтовой дуги; здѣсь же надо знать полную силу F, съ которою вольтова дуга давитъ на анодъ; эта сила получается помноженіемъ давленія на площадь кратера, которую вычисляли на формулѣ г-жи Айртонъ. Такимъ образомъ для v были найдены величины между $1{\cdot}9.10^8$ и 3.10^8 cm/sec, а для ε/m—величины между $0{\cdot}8.10^7$ и $1{\cdot}9.10^7$ эл.-маг. единицъ. Эти числа того же порядка, какъ числа, получаемыя для тѣхъ же величинъ изъ опытовъ съ катодными лучами. Отсюда мы должны заключить, что *въ вольтовой дугѣ, какъ и въ катодныхъ лучахъ, носители электричества одни тѣ же, т. е. отрицательные электроны.* Нѣсколько меньшая скорость v въ вольтовой дугѣ сравнительно со скоростью въ круксовской трубкѣ объясняется тѣмъ, что въ послѣдней дѣйствуютъ гораздо бóльшія электрическія силы, чѣмъ въ вольтовой дугѣ.



фиг. 6.

8. Изъ всего изложеннаго приходимъ къ заключенію, что механизмъ вольтовой дуги тождественъ съ механизмомъ электрическаго разряда въ круксовской трубкѣ. Какъ въ этой послѣдней пространство между электродами іонизируется выдѣленіемъ отрицательныхъ электроновъ съ катода, такъ и въ вольтовой дугѣ пространство между углями іонизируется отрицательными электронами, которые выдѣляются съ отрицательнаго угля; какъ въ круксовской трубкѣ катодные лучи образуются потокомъ отрицательныхъ электроновъ, отталкиваемыхъ катодомъ, такъ и вольтова дуга образуется потокомъ отрицательныхъ электроновъ, отталкиваемыхъ отрицательнымъ углемъ и притягиваемыхъ положительнымъ.

Отмѣтимъ одно различіе: въ круксовской трубкѣ электроны движутся прямолинейно, по нормалямъ къ поверхности катода и независимо отъ положенія анода; въ вольтовой дугѣ они движутся по направленію отъ катода къ аноду. Такое различіе по

всей вѣроятности объясняется тѣмъ, что въ катодной трубкѣ электрическое поле несравненно сильнѣе, чѣмъ вдоль вольтовой дуги.

Еще разница, хотя уже второстепенная, заключается въ самой причинѣ іонизаціи: въ круксовской трубкѣ іонизація происходитъ вслѣдствіе сильнаго заряда катода, а въ вольтовой дугѣ вслѣдствіе сильнаго нагрѣванія катода. Но мы уже знаемъ, что катодные лучи выдѣляются не только сильно заряженнымъ катодомъ, но, какъ показалъ Ленардъ, и катодомъ, освѣщеннымъ ультрафіолетовыми лучами; въ вольтовой дугѣ мы встрѣчаемъ третій способъ выдѣленія катодныхъ лучей—именно вслѣдствіе сильнаго нагрѣванія катода.

Разница между радіоактивными и химическими превращеніями.

Э. Рутерфорда [1]

Со времени открытія класса тѣлъ, какъ радій, уранъ и торій, непрерывно испускающихъ особые лучи, наука стоитъ передъ двумя важными вопросами о происхожденіи излучаемой энергіи и о механизмѣ этого явленія. Открытіе радія, активность коего въ милліонъ разъ больше активности урана, еще болѣе усилило интересъ къ этимъ вопросамъ.

Настоящая статья имѣетъ предметомъ изложить теорію, которая бы удовлетворительно объясняла сложныя явленія радіоактивности и связывала разнообразныя явленія въ одно стройное цѣлое. Эта теорія, созданная Содди и мною, считаетъ ато-

---

[1]) Der Unterschied zwischen radioaktiver und chemischer Verwandlung. Von *E. Rutherford* (Jahrb. d. Radioaktivität u Elektronik I B.).

мы радіоактивнаго элемента за неустойчивыя системы, которыя распадаются, образуя рядъ радіоактивныхъ веществъ, отличающихся своими химическими свойствами отъ начальнаго элемента. Лучеиспусканіе сопутствуетъ распаденію атомовъ и даетъ мѣру скорости, съ которою происходитъ распаденіе. По этому воззрѣнію непрерывное выдѣленіе энергіи активными тѣлами совершается на счетъ ихъ внутренняго запаса, помѣщающагося въ атомахъ, и потому нисколько не противорѣчитъ закону сохраненія энергіи. Вмѣстѣ съ тѣмъ теорія эта показываетъ, что въ атомѣ радія помѣщается огромный запасъ энергіи. Вслѣдствіе невозможности—дѣйствіемъ извѣстныхъ намъ физическихъ и химическихъ силъ—открыть атомы элементовъ, этотъ запасъ энергіи прежде не былъ замѣчаемъ. По этой теоріи въ радіоактивныхъ тѣлахъ происходятъ дѣйствительныя превращенія матеріи. Процессъ распаденія былъ изслѣдованъ не прямыми химическими способами, но при помощи свойства радіоактивныхъ тѣлъ испускать особаго рода лучи.

Прежде, чѣмъ привести основанія, на которыхъ покоится теорія, напомнимъ вкратцѣ, что извѣстно о природѣ лучей, испускаемыхъ радіоактивными тѣлами. Эти лучи бываютъ трехъ родовъ, которые называются α-, β- и γ-лучами. Эти лучи можно отчасти раздѣлить, пользуясь ихъ разными способностями проникать тѣла или же примѣняя магнитныя или электрическія силы: α-лучи чрезвычайно легко задерживаются матеріею—они поглощаются листомъ бумаги или нѣсколькими центиметрами воздуха; β-лучи болѣе проникающіе—они проходятъ чрезъ алюминій въ нѣсколько миллиметровъ толщины; наконецъ γ-лучи обладаютъ чрезвычайною способностью проникать; ихъ присутствіе обнаруживается даже послѣ того, какъ они пройдутъ нѣсколько центиметровъ свинца или 20 cm. желѣза.

α- и β-лучи отличаются отъ обыкновенныхъ свѣтящихъ лучей тѣмъ, что отклоняются магнитнымъ или электрическимъ полемъ. Послѣдніе, т. е. β-лучи оказались тождественными съ катодными лучами, образующимися при электрическомъ разрядѣ въ круксовской трубкѣ; эти лучи состоятъ изъ потока частичекъ, несущихъ отрицательные заряды и летящихъ со скоростью близкою къ скорости свѣта. Эти частички или электроны, какъ ихъ называютъ, мельчайшія тѣльца, которыя только извѣстны въ наукѣ: масса каждаго изъ нихъ приблизительно 1/1000 массы атома водорода. Напротивъ того, γ-лучи не отклоняются магнит-

нымъ полемъ; опыты убѣждаютъ насъ въ томъ, что γ-лучи представляютъ собою рядъ особенно сильно проникающихъ рёнтгеновскихъ лучей. А рёнтгеновскіе лучи считаютъ образуемыми отдѣльными электромагнитными волнами, возникающими при встрѣчѣ катодныхъ лучей съ твердымъ тѣломъ. Повидимому γ-лучи возникаютъ въ тотъ моментъ, когда β-частички выбрасываются изъ атома радія. Вслѣдствіе внезапности, съ которою выбрасываемая частичка приходитъ въ движеніе, высылается очень короткая волна, и слѣдовательно эти лучи сильнѣе проникаютъ, чѣмъ обыкновенные рёнтгеновскіе лучи, образуемые въ круксовской трубкѣ. Даже самое сильное магнитное поле лишь слабо отклоняетъ α-лучи; при этомъ оно отклоняетъ ихъ въ сторону противоположную той, въ которую отклоняетъ β-лучи. Было установлено, что α-лучи состоятъ изъ потока матеріальныхъ частицъ, несущихъ положительные заряды и летящихъ со скоростью 30000 km/sec; каждая изъ такихъ частицъ имѣетъ массу того же порядка, какъ масса атома водорода; по всей вѣроятности эти частицы не что иное, какъ атомы водорода или гелія. Изъ этихъ трехъ родовъ лучей α-лучи наиболѣе важные, какъ по величинѣ соотвѣтствующей имъ энергіи, такъ и по роли, которую они играютъ въ радіоактивныхъ явленіяхъ. Большая часть лучей радіоактивныхъ тѣлъ матеріальной природы и состоитъ изъ отдѣльныхъ тѣлецъ, летящихъ съ громадною скоростью. Эти лучи аналогичны тѣмъ, которые образуются внутри круксовской трубки, когда чрезъ нее проходятъ электрическій разрядъ; β-лучи тождественны съ катодными лучами, γ-лучи подобны рёнтгеновскимъ лучамъ. Но радіоактивными тѣлами эти лучи испускаются самостоятельно, помимо дѣйствія электрическаго поля, и частицы ихъ летятъ со скоростями, далеко превосходящими тѣ, которыми обладаютъ частицы въ круксовской трубкѣ.

Недавно Кюри и Лабордъ показали, что соединенія радія не только испускаютъ лучи, но и бываютъ нагрѣты на нѣсколько градусовъ выше окружающей среды, слѣдовательно выдѣляютъ тепловую энергію; изъ опытовъ было установлено, что 1 gr. радія въ теченіе часа выдѣляетъ 100 gr-cal. тепла. Выдѣленіе тепла въ такомъ размѣрѣ происходитъ непрерывно и независимо отъ того, находится-ли радій въ твердомъ состояніи или въ растворѣ. Это выдѣленіе тепла есть, несомнѣнно, побочное явленіе и обусловливается испусканіемъ α-лучей. Мы уже знаемъ,

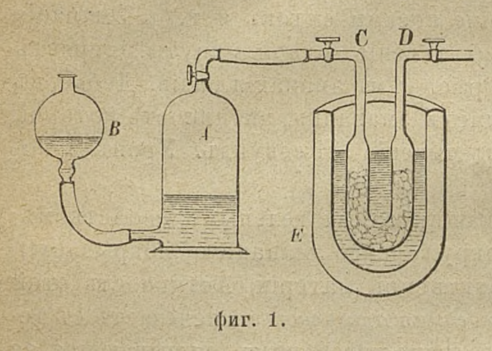
что α-частицы обладаютъ такою большою массою и выбрасываются съ такою значительною скоростью, что несутъ съ собою большой запасъ кинетической энергіи. Разсмотримъ маленькое зернышко радія; α-частицы выталкиваются изъ всѣхъ частей его массы; но вслѣдствіе сильной ихъ поглощаемости большинство этихъ частицъ удерживается самимъ радіемъ; ихъ энергія движенія удерживается въ формѣ тепла. Такимъ образомъ радій подверженъ непрерывной бомбардировкѣ своихъ собственныхъ α-частицъ, и потому его температура поддерживается выше окружающаго. Едва-ли можно сомнѣваться, что всѣ радіоактивныя тѣла выдѣляютъ теплоту пропорціональную ихъ активности. Въ слабо-активныхъ тѣлахъ, какъ уранъ и торій, развитіе тепла настолько незначительно, что недоступно наблюденію.

Авторъ открылъ, что торій непрерывно выдѣляетъ изъ себя газообразное вещество, которое было названо эманаціею торія; эта эманація, какъ тяжелый газъ, диффундируетъ въ воздухъ, и при движеніи послѣдняго перемѣщается съ одного мѣста въ другое. Дорнъ доказалъ, что и соединенія радія обладаютъ подобнымъ же свойствомъ. Лучеиспусканіе эманаціи не постоянно, но съ теченіемъ времени прекращается. Напримѣръ активность эманаціи радія уменьшается до половины въ теченіе четырехъ сутокъ, до четверти въ теченіе восьми сутокъ и т. д. Эманація торія, падая до половины въ теченіе одной минуты, теряетъ свою активность гораздо скорѣе, чѣмъ эманація радія. Дебьернъ показалъ, что актиній тоже даетъ эманацію, активность которой уменьшается до половины въ теченіе 3·4 секундъ. Уранъ и полоній не даютъ эманаціи.

Всѣ эти эманаціи обладаютъ замѣчательнымъ свойствомъ. Поверхность всякаго тѣла, окруженнаго эманаціею, покрывается незамѣтною оболочкою радіоактивной матеріи. Активность этой матеріи, такъ называемая *наведенная активность*, исчезаетъ съ теченіемъ времени, но съ иною скоростью, чѣмъ вызывающая ее эманація. Законъ измѣненія наведенной активности сначала сложенъ, но чрезъ нѣсколько часовъ онъ становится показательнымъ закономъ: наведенная активность уменьшается до половины чрезъ 11 часовъ въ случаѣ торія, чрезъ 28 минутъ въ случаѣ радія и чрезъ 41 минуту въ случаѣ актинія.

Если отрицательно заряженная проволока находится въ присутствіи эманаціи, то на ней концентрируется активная матерія; этотъ активный осадокъ растворимъ въ сѣрной или соляной

кислотѣ, и—по испареніи кислоты—остается въ чашкѣ. Понятно, что эманація перешла въ новое твердое радіоактивное вещество, осѣвшее на поверхность тѣлъ. Благодаря продолжительному пребыванію въ газообразномъ состояніи эманаціи торія и радія были предметомъ многочисленныхъ изслѣдованій. Было найдено, что при измѣненіи температуры въ широкихъ предѣлахъ активности ихъ остаются постоянными. Кюри обнаружилъ, что между—180° и +450°Ц. активность эманаціи радія уменьшается одинаково. Содди и авторъ доказали, что эманація не поддается самой энергичной химической обработкѣ; такимъ образомъ эманаціи обнаруживаютъ свойства инертныхъ газовъ и въ этомъ отношеніи походятъ на газы аргонной группы. Далѣе было найдено, что подъ дѣйствіемъ крайняго холода эманаціи торія и радія сжижаются, первая при—120°, а вторая при—150°Ц. Разница въ температурахъ сжиженія показываетъ, что эманаціи суть опредѣленныя химическія вещества. Способность эманаціи сжижаться чрезвычайно важна, ибо даетъ простое средство отдѣлить эманаціи отъ газа, съ которымъ она смѣшана. Сжиженіе эманаціи, которая получается раствореніемъ или нагрѣваніемъ нѣсколькихъ миллиграммовъ бромистаго радія, можно демонстрировать слѣдующимъ опытомъ. Смѣшанная съ воздухомъ эманація собирается въ большомъ стеклянномъ газовомъ пріемникѣ *A* (фиг. 1) и медленно пропускается чрезъ маленькую U-образную трубку *CD*, погруженную въ жидкій воздухъ, налитый въ дюаровскій сосудъ *E*; для того, чтобы сдѣлать видимымъ для глазъ процессъ сжиженія эманаціи, эта трубка набивается маленькими кусочками виллемита (цинковый силикатъ), которые свѣтятъ подъ вліяніемъ лучей эманаціи. Если эманацію пропускать чрезъ трубку *CD*, то виллемитъ ярко флуоресцируетъ, какъ разъ подъ уровнями жидкаго воздуха, откуда слѣдуетъ, что здѣсь эманація сжижается; если концы трубки *CD* запереть кранами и затѣмъ вынуть ее изъ жидкаго воздуха, то эманація скоро испаряется и свѣченіе распространяется по всей трубкѣ. Если послѣ нѣсколькихъ часовъ



Фиг. 1.

пребыванія въ трубкѣ *CD* эманацію удалить оттуда сильнымъ токомъ воздуха, то свѣченіе тухнетъ не мгновенно, но еще видимо въ теченіе нѣсколькихъ часовъ. Это послѣсвѣченіе обусловливается наведенною активностью, вызываемою соприкосновеніемъ виллемита съ эманаціею. Эманація радія самосвѣтяща и быстро чернитъ стѣнки трубки, въ которой заключена. Недавно Рамзаю и Содди удалось изолировать небольшое количество эманаціи радія. Они показали, что эта эманація, какъ обыкновенный газъ, слѣдуетъ закону Бойля, но объемъ ея не постояненъ даже при неизмѣнномъ давленіи, но съ теченіемъ времени уменьшается въ той же степени, въ какой она теряетъ свою активность. Эманація даетъ опредѣленный спектръ съ свѣтлыми линіями. Постепенное исчезновеніе эманаціи есть слѣдствіе ея превращенія въ твердое вещество, которое отлагается въ видѣ незамѣтнаго слоя на поверхность окружаемаго ею тѣла.

Кромѣ лучеиспусканія эманація радія выдѣляетъ теплоту и при томъ въ чрезвычайно большомъ количествѣ, если принять во вниманіе массу участвующаго вещества. Барнесъ и авторъ показали, что эманація, получаемая нагрѣваніемъ или раствореніемъ соединенія радія, выдѣляетъ три четверти той теплоты, которую даетъ радій, изъ коего получена эманація. Опыты дѣлались такъ: эманацію помѣщали въ короткую трубочку, которую затѣмъ запаивали; выдѣленіе тепла такою трубочкою наблюдалось въ теченіе цѣлаго мѣсяца. Тепловое дѣйствіе трубочки съ эманаціею уменьшалось по тому же закону, какъ и активность эманаціи, т. е. падало до половины въ теченіе четырехъ сутокъ. Послѣ удаленія эманаціи тепловое дѣйствіе радія уменьшается въ четыре раза, но постепенно возростаетъ и чрезъ мѣсяцъ достигаетъ снова своего начальнаго значенія. Возстановленіе теплового дѣйствія прямо связано съ постепеннымъ возстановленіемъ лучеиспускающей способности радія, о которомъ мы будемъ говорить ниже. Тепловыя дѣйствія радія и отдѣленной отъ него эманаціи, взятыхъ вмѣстѣ, всегда равны такому же дѣйствію начальнаго радія. Было также найдено, что бо́льшая часть теплового дѣйствія трубочки съ эманаціею обусловливается наведенною активностью, собирающеюся на ея стѣнкахъ. По удаленіи эманаціи тепловое дѣйствіе трубочки падаетъ также, какъ и наведенная активность. Тепловыя дѣйствія различныхъ продуктовъ радія всегда пропорціональны ихъ активностямъ, оцѣниваемымъ α-лучами, и потому нѣтъ сомнѣнія, что бо́льшая

часть теплового дѣйствія есть слѣдствіе бомбардировки выбрасываемыхъ α-частицъ; меньшая часть этого дѣйствія вѣроятно обусловливается новымъ распредѣленіемъ составныхъ частей системы, послѣ того, какъ изъ нея были выброшены α-частицы. Изъ одного грамма бромистаго радія, находящагося въ радіоактивномъ равновѣсіи, можно извлечь 1 куб. mm. эманаціи при обыкновенномъ давленіи и температурѣ. Такъ какъ эманація, полученная изъ одного грамма бромистаго радія выдѣляетъ 75 gr-cal. въ теченіе сутокъ, то можно вычислить, что куб сантиметръ эманаціи въ теченіе всего своего существованія выдѣляетъ приблизительно 4.10^6 gr-cal. Такое выдѣленіе тепла было бы достаточно, чтобы расплавить стѣнки стеклянной трубки или поддерживать ихъ въ до-красна раскаленномъ состояніи.

Было найдено, что эманація диффундируетъ, какъ газъ, молекулярный вѣсъ котораго больше 100. Если принять этотъ молекулярный вѣсъ равнымъ 200, то находимъ, что одинъ граммъ эманаціи радія вмѣстѣ съ своими продуктами превращенія выдѣляетъ 10^9 gr-cal. въ теченіе всего своего существованія. Если бы когда-нибудь удалось собрать 1 kgr. эманаціи, то вначалѣ онъ выдѣлялъ бы изъ себя энергію въ 25000 лошадиныхъ силъ; чрезъ четверо сутокъ тепловое дѣйствіе уменьшилось бы до половины; но въ теченіе всей активности онъ выдѣлилъ бы 150000 лошадей-дней. Нѣсколькихъ килограммовъ эманаціи было бы достаточно для приведенія въ движеніе парохода при переходѣ чрезъ Атлантическій океанъ. Изученіе радіоактивности обнаружило, что изъ радіоактивныхъ тѣлъ можно извлечь огромное количество энергіи. При равныхъ массахъ, изъ эманаціи выдѣляется въ милліонъ разъ большое количество энергіи, чѣмъ освобождается энергіи при взрывѣ гремучаго газа; при радіоактивныхъ процессахъ въ эманаціи выдѣляется гораздо больше энергіи, чѣмъ при какомъ-нибудь изъ извѣстныхъ химическихъ процессовъ.

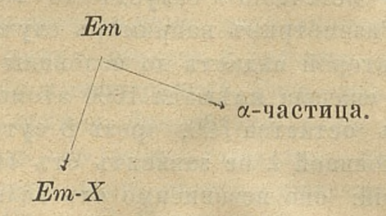
Сначала объяснимъ явленія, сопровождающія образованіе эманаціи.

Было найдено, что эманація торія и радія непрерывно испускаютъ α-лучи; выбрасываніе α-частицъ, т. е. матеріальныхъ частицъ одного размѣра съ атомами, показываетъ, что въ эманаціи происходитъ извѣстнаго рода превращеніе. Количество выброшенныхъ α-частицъ опредѣляетъ размѣръ этого превращенія. Законъ паденія активности эманаціи выражаетъ то обсто-

ятельство, что размѣръ превращенія эманаціи всегда пропорціоналенъ еще непревращенной массѣ. Если N_0 есть начальное число атомовъ эманаціи, и N_t число атомовъ, еще не измѣнившихся по истеченіи t секундъ то $N_t = N_0 e^{-\lambda t}$, гдѣ λ есть постоянная. Разсмотримъ напримѣръ случай съ эманаціею радія, активность которой падаетъ до половины въ теченіе четырехъ сутокъ. Если сначала имѣются 1000 атомовъ эманаціи, то чрезъ 4 сутокъ ихъ остается 500, чрезъ 8 сутокъ лишь 250 и т. д. Значеніе постоянной λ не зависитъ отъ физическихъ или химическихъ вліяній: оно независимо отъ количества эманаціи, отъ давленія и природы примѣшанныхъ къ ней газовъ, какъ и отъ сосуда, въ которомъ она собрана, или наконецъ отъ измѣненія температуры. Такимъ образомъ λ есть постоянная, характеризующая эманацію.

Характеръ превращенія, сопровождающаго эманацію, очень отличенъ отъ всѣхъ другихъ извѣстныхъ химическихъ процессовъ, ибо это превращеніе не только сопровождается выбрасываніемъ съ громадными скоростями заряженныхъ тѣлецъ, но кромѣ того оно не зависитъ отъ температуры, обстоятельство, которое еще никогда не наблюдалось ни при одномъ изъ химическихъ превращеній. При этомъ количество энергіи, выдѣляемое эманаціею въ теченіе своего существованія, приблизительно въ милліонъ разъ больше, чѣмъ при какомъ-нибудь химическомъ превращеніи. Впрочемъ если разсматриваемыя превращенія происходятъ въ атомѣ, а не въ частицѣ, то нельзя ожидать большого вліянія температуры на эти превращенія; ибо безсиліе химіи разложить элементы на простѣйшія составныя части, служитъ уже доказательствомъ тому, что температура не имѣетъ большого значенія на устойчивость атомовъ. Теорія превращенія принимаетъ, что эманація состоитъ изъ атомовъ, представляющихъ неустойчивыя системы, которыя распадаются при ударѣ α-частицъ. Каждый атомъ эманаціи теряетъ часть своей массы, и потому слѣдуетъ ожидать, что физическія и химическія свойства остаточнаго вещества отличаются отъ свойствъ начальнаго вещества. По этому воззрѣнію атомъ эманаціи безъ α-частицы будетъ атомомъ эманаціи-X, какъ называютъ то вещество, которое осѣдаетъ на поверхность тѣлъ и которое обусловливаетъ „наведенную активность". Эта эманація-X имѣетъ, какъ мы видѣли, свойство твердаго тѣла и—въ противоположность эманаціи—растворима въ нѣкоторыхъ кислотахъ. Атомы эмана-

ціи-X тоже неустойчивы и въ свою очередь претерпѣваютъ рядъ распаденій. Результатъ распаденія атома эманаціи можно представить графически слѣдующимъ образомъ:



Тепловыя дѣйствія эманаціи главнымъ образомъ обусловливаются кинетическою энергіею выброшенныхъ α-частицъ. Невозможно представить себѣ механизмъ, помѣщающійся внутри или внѣ атома и который бы внезапно приводилъ α-частицу въ движеніе со скоростью 30000 km/sec. Такую скорость заряженная α-частица могла бы пріобрѣсти въ электрическомъ полѣ съ паденіемъ потенціала въ 5 милліоновъ вольтъ на протяженіи діаметра атома. Поэтому нѣтъ сомнѣнія, что уже до своихъ выталкиваній α-частицы находятся въ быстрыхъ движеніяхъ внутри предѣловъ атома. По какимъ-нибудь причинамъ атомъ распадается и α-частица оставляетъ свою орбиту со скоростью, которою обладала въ этотъ моментъ. По этому воззрѣнію эманація выдѣляетъ энергію за счетъ измѣненія своихъ атомовъ. Для уясненія происхожденія энергіи стоитъ только принять, что послѣ выдѣленія α-частицы внутренняя энергія системы меньше, чѣмъ прежде. По мнѣнію Дж. Дж. Томсона, Лармора и Лоренца химическій атомъ имѣетъ очень сложное строеніе, состоя изъ большого числа электроновъ или группъ электроновъ, весьма быстро колеблющихся или обращающихся. Штаркъ обратилъ вниманіе на то, что отъ одного уплотненія этихъ наэлектризованныхъ частицъ, образующихъ атомъ, освобождается огромное количество внутренней потенціальной энергіи. Этотъ внутренній запасъ энергіи обнаруживается для насъ только въ явленіяхъ, сопровождающихъ распаденіе атомовъ, какъ въ случаѣ радіоэлементовъ и ихъ продуктовъ. Такимъ образомъ выдѣленіе радіоэлементами огромнаго количества энергіи никоимъ образомъ не противорѣчитъ закону сохраненія энергіи.

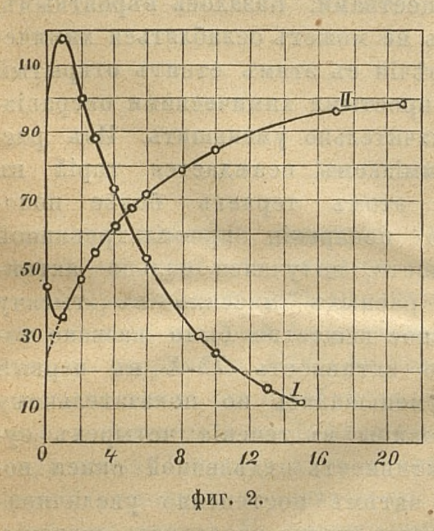
Обратимся теперь къ природѣ и числу превращеній, совершающихся въ радіоэлементахъ. Радіоактивныя явленія были

впервые объяснены на основаніи теоріи превращеній по поводу изученія радіоактивности торія. Опыты г-жи Кюри показали, что активность есть атомное свойство, ибо излученіе зависитъ только отъ массы имѣющагося радіоэлемента и не зависитъ отъ его соединенія съ неактивными веществами. Казалось вѣроятнымъ, что активность радіоэлементовъ не можетъ ослабляться химическими средствами. Въ противорѣчіи съ этимъ стоитъ открытый Содди и авторомъ фактъ, что простыми химическими операціями активность торія можно значительно уменьшить. Изъ раствора азотноторіевой соли амміакомъ осаждается торій въ видѣ водной окиси, и при этомъ теряетъ болѣе половины своей активности; по испареніи профильтрованной и свободной отъ торія жидкости, получался сильно активный остатокъ, который—при равныхъ массахъ—въ тысячу разъ активнѣе торія. Это активное вещество было названо торіемъ-*X*. Опыты показали, что активность *Th-X* въ первый день увеличивалась, а затѣмъ уменьшалась по показательному закону, причемъ падала до половины въ теченіе четырехъ сутокъ. Съ другой стороны активность отдѣленной окиси водной сначала уменьшалась, а затѣмъ постепенно увеличивалась и въ теченіе мѣсяца достигала своего начальнаго значенія. На фиг. 2 изображены кривыя, представляющія постепенныя уменьшенія активности *Th-X* и возстановленія активности *Th*.

Отвлекаясь отъ начальныхъ неправильностей обѣихъ кривыхъ, которыя мы разсмотримъ ниже, находимъ, что послѣ двухъ сутокъ, время (4 сутокъ), въ которое *Th* пріобрѣтаетъ половину своей потерянной активности, приблизительно равно времени, въ теченіе котораго *Th - X* теряетъ половину своей активности; сумма активностей *Th* и *Th-X* во всякій моментъ равна активности начальнаго *Th*; активность *Th-X* уменьшается по тому же закону, какъ и активность эманаціи радія, и объясняется совершенно также. Эти процессы паденія и возстановленія активностей протекаютъ съ одинакими скоростями, будутъ-ли вещества раздѣлены или заключены вмѣстѣ въ свинцовый сосудъ или въ стеклянную трубочку, изъ которой удаленъ воздухъ. Съ перваго взгляда кажется страннымъ, что процессы паденія и возстановленія активности такъ тѣсно связаны между собою, хотя и происходятъ безъ всякаго взаимнаго вліянія. Все это вполнѣ объясняется слѣдующими допущеніями: 1) вещество *Th-X* непрерывно образуется торіемъ и 2) съ самаго момента

образованія *Th-X*, его активность уменьшается по показательному закону.

Постоянная активность торія есть такимъ образомъ состояніе равновѣсія между двумя противоположными процессами: новое радіоактивное вещество непрерывно образуется и вмѣстѣ съ тѣмъ оно непрерывно переходитъ въ другія формы. Подобно тому, какъ населеніе страны постоянно, если число рожденій равно число смертей, такъ и активность торія достигаетъ предѣльнаго значенія, если число атомовъ *Th-X*, образуемыхъ въ секунду, равно числу распадающихся его атомовъ за то же время. Первое изъ нашихъ допущеній подтверждается непосредственнымъ опытомъ. Если торій, изъ котораго *Th-X* вполнѣ удаленъ, оставить на нѣкоторое время и затѣмъ выдѣлить амміакомъ, то полученное количество *Th-X* согласно съ теоріею. Напримѣръ чрезъ 4 сутокъ получается половина максимального количества; чрезъ мѣсяцъ получается такое же количество, какъ и въ первый разъ; такой опытъ можно повторять неограниченное число разъ, лишь бы между двумя послѣдовательными осажденіями проходило достаточное время для того, чтобы активность торія успѣвала вполнѣ возстановиться.



фиг. 2.

Нѣтъ сомнѣнія, что *Th-X* есть опредѣленное химическое вещество, по своимъ физическимъ и химическимъ свойствамъ отличное отъ *Th*, изъ котораго происходитъ. Амміакъ есть единственный химическій реагентъ, при помощи котораго онъ вполнѣ отдѣляется отъ торія; количество *Th-X*, получаемаго изъ нѣсколькихъ граммовъ торія, слишкомъ мало, чтобы быть обнаружено прямыми химическими способами, но электрическіе пріемы демонстрированія радіоактивныхъ превращеній настолько чувствительны, что легко обнаруживаютъ то количество *Th-X*, которое производитъ торій въ нѣсколько минутъ.

Эманація, выдѣляемая соединеніями торія, производится не непосредственно торіемъ, но веществомъ *Th-X*. Послѣ своего отдѣленія отъ *Th-X* торій почти совершенно теряетъ способность выдѣлять эманацію. Съ другой стороны растворъ *Th-X* даетъ большія количества эманаціи. Выдѣляемое торіемъ-*X* количество эманаціи уменьшается съ теченіемъ времени, падая до половины въ четверо сутокъ, т. е. съ тою же скоростью, съ которою *Th-X* теряетъ свою активность. Этотъ результатъ очень важенъ, ибо показываетъ, что эманація есть продуктъ торія-*X*, такъ какъ количество выдѣленной эманаціи всегда пропорціонально массѣ имѣющагося тамъ торія-*X*. Такой результатъ можно понять лишь въ томъ случаѣ, когда каждый атомъ торія-*X* является слѣдствіемъ распаденія одного атома эманаціи. Осажденный торій снова пріобрѣтаетъ способность образовать эманацію, по мѣрѣ того, какъ въ немъ скопляется свѣжій торій-*X*. Теперь можно объяснить неправильности, наблюдаемыя въ началѣ кривыхъ паденія и возстановленія активности. Уже было сказано, что эманація-*X* (въ отличіе отъ торія-*X*) не растворяется въ амміакѣ и слѣдовательно остается вмѣстѣ съ торіемъ; какъ скоро источникъ эманаціи, т. е. *Th-X*, удаленъ, активность эманаціи-*X* начинаетъ ослабляться, ибо распаденіе этого вещества ничѣмъ не пополняется; такимъ образомъ объясняется начальное паденіе кривой возстановленія. Это объясненіе было провѣрено слѣдующимъ образомъ: чрезъ малые промежутки времени *Th-X* отдѣлялся отъ торія, дабы дать время эманаціи-*X* исчезнуть; тогда кривая возстановленія, не обнаруживая начальнаго паденія, постепенно съ теченіемъ времени поднималась. Такимъ же образомъ начальный подъемъ кривой паденія обусловливается образованіемъ эманаціи, а слѣдовательно и эманаціи-*X*, активность коихъ прибавляется къ активности торія-*X*.

Активность торія (оцѣниваемая при помощи α-лучей) можетъ быть ослаблена до 25% начальной активности. Эта неотдѣлимая активность есть, повидимому, свойство торія, которое не можетъ быть уничтожено никакими химическими пріемами. Физическія и химическія условія не оказываютъ вліянія на образованіе торія-*X* и эманаціи. Способность твердыхъ соединеній торія выдѣлять эманацію значительно измѣняется въ зависимости отъ температуры и влажности; но это, какъ оказалось, не зависитъ ни отъ разницы въ количествѣ образуемой эманаціи, ни отъ количества освобождаемой эманаціи; такъ какъ эманація

теряетъ свою активность въ нѣсколько минутъ, то небольшое замедленіе въ выдѣленіи эманаціи вызываетъ замѣтное измѣненіе въ количествѣ свободной эманаціи.

Такимъ образомъ анализъ радіоактивности торія обнаружилъ, что радіоактивность поддерживается образованіемъ послѣдовательнаго ряда радіоактивныхъ веществъ: торій даетъ торій-*X*, торій-*X* образуетъ эманацію, эманація распадается и порождаетъ эманацію-*X*. Послѣдняя то же распадается и притомъ дважды. Каждое изъ этихъ новыхъ веществъ характеризуется опредѣленными физическими и химическими свойствами, которыя ихъ отличаютъ отъ элемента, породившаго ихъ; напримѣръ *Th*-*X* растворяется въ амміакѣ, тогда какъ *Th* не растворимъ; эманація есть инертный газъ, тогда какъ эманація-*X* обладаетъ свойствами твердаго тѣла, которое растворяется въ нѣкоторыхъ кислотахъ и улетучиваетси при бѣломъ каленіи.

Круксъ показалъ, что различными химическими пріемами отъ урана можно отдѣлить сильно активную часть, которую онъ назвалъ ураномъ-*X* (*Ur*-*X*). Въ противоположность торію-*X* вещество уранъ-*X* даетъ только β-лучи. Уранъ, отъ котораго отдѣленъ уранъ-*X*, на первое время совершенно лишается β-лучей, тогда какъ активность, опредѣляемая α-лучами, не измѣняется процессомъ. Такимъ образомъ уранъ, какъ и торій, обладаетъ неотъемлимою активностью. Съ теченіемъ времени активность урана-*X* падаетъ по показательному закону, уменьшаясь на половину въ теченіе 22 дней. На подобіе торія уранъ постепенно возстановляетъ свою потерянную активность и притомъ такъ, что кривыя паденія урана-*X* и возстановленія урана дополнительныя одна къ другой. Опыты Беккереля показали, что уранъ-*X* можетъ быть отдѣленъ отъ урана осажденіемъ баріемъ. Такъ какъ уранъ-*X* испускаетъ только β-лучи, то ясно, что α- и β-лучи урана испускаются различнаго рода матеріалами.

Превращенія, совершающіяся въ радіѣ, во многихъ отношеніяхъ аналогичны тѣмъ, которыя происходятъ въ торіѣ, за исключеніемъ громадной разницы въ активности. Оба элемента даютъ эманаціи, которыя въ свою очередь превращаются въ матерію, имѣющую свойства твердаго тѣла и осѣдающую на поверхности тѣлъ. Впрочемъ между радіемъ и его эманаціею нѣтъ промежуточнаго продукта, который бы соотвѣтствовалъ *Th*-*X*

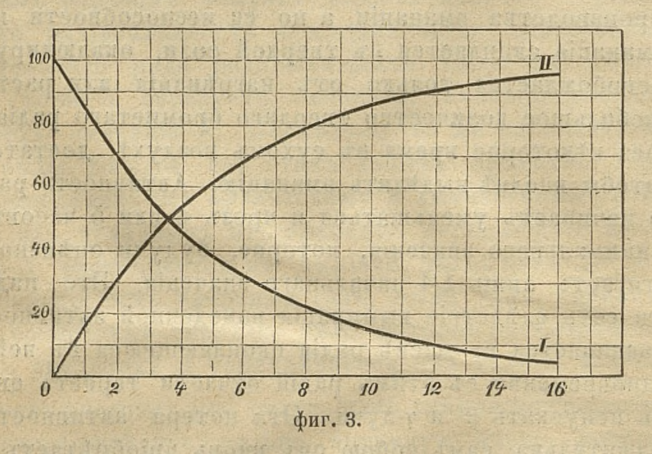
въ превращеніяхъ торія. Радій непосредственно производитъ эманацію съ опредѣленною скоростью.

Въ сухой атмосферѣ твердый бромистый радій выдѣляетъ въ воздухъ очень мало эманаціи. Это зависитъ не отъ прекращенія производства эманаціи, а по ея неспособности покинуть радій: эманація скопляется въ твердой соли, окклюдируется въ ней и освобождается только отъ нагрѣванія или растворенія. Пусть небольшое количество твердаго бромистаго радія, сохранявшагося нѣкоторое время въ сухомъ воздухѣ, достаточно нагрѣто, чтобы вполнѣ выдѣлить эманацію. Активность радія тотчасъ же начинаетъ уменьшаться и чрезъ 4 или 5 часовъ достигаетъ минимальнаго значенія, которое, будучи оцѣнено α-лучами, достигаетъ лишь 1/4 начальнаго значенія. Это паденіе активности есть слѣдствіе вымиранія наведенной активности, которая развивается въ массѣ радія скопляющеюся въ ней эманаціею. Одновременно съ этимъ радій отчасти теряетъ свою способность испускать β- и γ-лучи. Эта потеря активности радія непродолжительна; самъ собою онъ вновь пріобрѣтаетъ способность испускать лучи, которая по истеченіи мѣсяца достигаетъ прежняго значенія.

Разсмотримъ эманацію, отдѣленную отъ радія нагрѣваніемъ. Если она собрана въ закрытомъ сосудѣ, то сначала ея разряжающая способность возростаетъ въ теченіе нѣсколькихъ часовъ; это обусловливается наведенною активностью, осаждающеюся изъ эманаціи на стѣнки сосуда. Тогда, какъ мы уже знаемъ, активность падаетъ по показательному закону, уменьшаясь до половины, въ теченіе 4 сутокъ. На черт. 3 представлены кривая паденія активности эманаціи (I) и кривая возстановленія активности радія (II); какъ и въ случаѣ торія обѣ кривыя дополнительныя, что объясняется по прежнему: по удаленіи изъ радія эманаціи, образуется новая эманація и потому активность ростетъ до извѣстнаго предѣла, при которомъ число образуемыхъ атомовъ эманаціи равно числу распадающихся за то же время. Такимъ образомъ на эманацію и ея продукты приходится болѣе 3/4 всей активности радія. Непосредственно вслѣдъ за своимъ отдѣленіемъ эманація даетъ лишь α-лучи; но вслѣдствіе образованія наведенной активности начинаютъ появляться β- и γ-лучи; ибо, какъ было найдено, способность испускать эти лучи, принадлежитъ веществамъ, которыя образуются превращеніемъ эманаціи-X; достигнувъ maximum, напря-

женіе β- и γ-лучей съ теченіемъ времени ослабѣваетъ по тому же закону, по которому эманація-X теряетъ свою активность.

Теперь мы въ состояніи дать общее объясненіе явленій, происходящихъ въ радіоэлементахъ. Атомы этихъ элементовъ

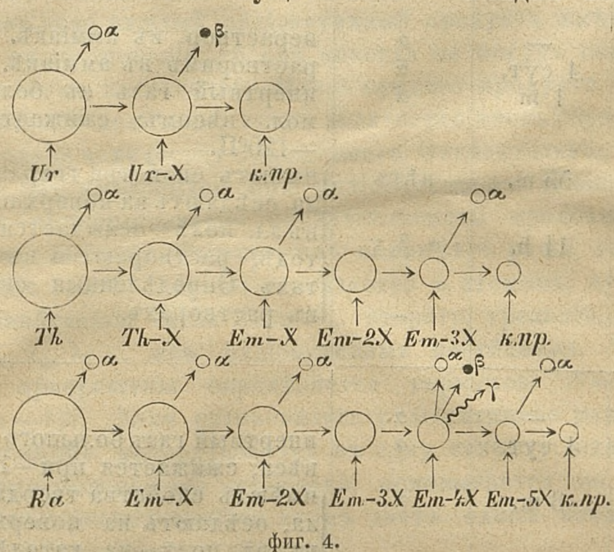


фиг. 3.

самые тяжелые, которые только извѣстны въ наукѣ. Атомный вѣсъ урана 240, торія 232,5 и радія 225. Допускаютъ, что по какимъ-нибудь причинамъ эти тяжелые атомы неустойчивы и распадаются. Распаденіе сопровождается выталкиваніемъ α-частицы, при чемъ ей сообщается большая скорость. Для объясненія радіоактивныхъ явленій надо принять, что въ секунду распадается лишь очень малая часть всего числа имѣющихся атомовъ; въ теченіе секунды распадается лишь 10^{-11} часть радія, 10^{-17} часть урана и торія. Такъ какъ α-лучи сопровождаютъ первое превращеніе радіоэлементовъ, то слѣдуетъ ожидать, что всякій радіоэлементъ обладаетъ активностью, которую нельзя отъ него отнять никакими химическими средствами; это и имѣетъ мѣсто въ дѣйствительности: каждый изъ трехъ радіоэлементовъ обладаетъ неотъемлемою активностью, обусловливаемою исключительно α-лучами. Вслѣдствіе выдѣленія α-частицы атомъ становится легче, чѣмъ прежде, и измѣняетъ свои химическія и физическія свойства; получающійся остатокъ неустойчивъ и распадается, при чемъ возникаютъ новыя вещества. Разъ начавшись, процессъ распаденія неудержимо продолжается и съ опредѣленною скоростью идетъ отъ одной ступени къ другой. При послѣднемъ быстромъ превращеніи выбрасывается β-частичка—процессъ, сопровождаемый γ-лучами. На черт. 4

представлены различныя вещества, образуемыя вслѣдствіе распаденія радіоатомовъ; здѣсь же обозначены тѣ лучи, которые испускаются въ каждой стадіи.

Въ торіѣ превращенія распадаются на пять отдѣльныхъ стадій, въ радіѣ на шесть и въ уранѣ на двѣ. Каждое изъ новыхъ веществъ, являющееся, какъ продуктъ превращенія, слѣдуетъ разсматривать, какъ переходный элементъ съ очень ограниченною продолжительностью существованія. Каждый изъ продук-



фиг. 4.

товъ превращается по опредѣленному закону и въ опредѣленномъ количествѣ. По истеченіи времени t имѣющееся число атомовъ N_t какого-нибудь рода вещества опредѣляется формулою

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t},$$

гдѣ N_0 есть начальное число атомовъ и λ постоянная превращенія. Тщательное изслѣдованіе показало, что за эманаціею-X торія слѣдуетъ двѣ, а за эманаціею-X радія слѣдуетъ четыре превращенія; одно изъ этихъ превращеній въ томъ и другомъ случаѣ оказалось неиспускающимъ лучей, т. е. матерія превращается, не выталкивая изъ себя α- или β-частичекъ. Время T, протекающее до тѣхъ поръ, пока половина продукта не превратится, природа лучей, испускаемыхъ каждымъ продуктомъ, а также физическія и химическія ихъ свойства указаны въ слѣдующей табличкѣ.

Радіоакт. прод.	T	Лучи	Хим. и физ. свойства.
Ur		α	растворимъ } въ избыткѣ
Ur-X	22 сут.	β и γ	нерастворимъ } углеамм. соли.
Кон. прод.		—	
Th	—	α	нераствор. въ амміакѣ.
Th-X	4 сут.	α	растворимъ въ амміакѣ.
Em.	1 m.	α	инертный газъ съ большимъ мол. вѣсомъ; сжижается при —120°Ц.
Em-X	55 m.	нѣтъ	имѣютъ свойства твердаго тѣла, осѣдаютъ на поверхностяхъ; въ эл. полѣ—осаждается на катодѣ; растворяются въ кислотахъ. Опредѣленныя свойства въ растворахъ.
Em-2X	11 h.	α, β, γ	
Кон-прод.	—	—	
Ra	—	α	
Em	4 сут.	α	инертный газъ большого молек. вѣса; сжижается при—150°Ц.
Em-X	3 m.	α	имѣютъ свойства твердаго тѣла, осѣдаютъ на поверхности, въ эл. полѣ—на катодѣ, растворяются въ нѣкот. кислотахъ, испаряются при бѣломъ каленіи, электролизируются въ растворахъ.
Em-2X	21 m.	нѣтъ	
Em-3X	28 m.	α, β, γ	
Em-4X	оч. вел.	α	растворимъ въ сѣрной кислотѣ.
Кон-прод.	—		

Превращенія большинства продуктовъ сопровождаются выдѣленіемъ α-частицъ. Замѣчательно, что β- и γ-лучи появляются лишь при послѣднихъ быстрыхъ превращеніяхъ, претерпѣваемыхъ тремя радіоэлементами; отсюда видно, что по сравненію съ α-лучами β- и γ-лучи играютъ второстепенную роль при превращеніяхъ радіоатомовъ. Четвертый продуктъ эманаціи радія, *Em-4X*, распадается чрезвычайно медленно по сравненію съ другими продуктами—лишь чрезъ нѣсколько сотенъ лѣтъ половина тѣла превращается. Этотъ медленно отмирающій про-

дуктъ радія былъ открытъ одновременно г-жею Кюри и Гизелемъ, которые нашли, что предметъ, погруженный на нѣкоторое время въ эманацію, по удаленіи оттуда не теряетъ вполнѣ своей активности; въ тѣлѣ сохраняется слабая остаточная активность, не измѣняющаяся замѣтнымъ образомъ по истеченіи 6 мѣсяцевъ. Вслѣдствіе медленнаго своего превращенія этотъ продуктъ можетъ скопляться въ радіѣ прежде, чѣмъ его образованіе уравновѣсится его преобразованіемъ.

Такъ какъ каждый радіоактивный продуктъ имѣетъ ограниченное существованіе, то они никогда не могутъ скопиться въ значительномъ количествѣ. Масса каждаго продукта достигаетъ максимальной величины, когда количество вновь образуемаго вещества равно количеству обращаемаго. Относительное количество каждаго изъ имѣющихся при радіоактивномъ равновѣсіи продуктовъ пропорціонально соотвѣтственной продолжительности ихъ существованія. Разсмотримъ напримѣръ радій, въ которомъ въ теченіе одной секунды распадается n атомовъ; пусть N_1, N_2, N_3... наибольшія числа перваго, втораго, третьяго,... продуктовъ, λ_1, λ_2, λ_3... ихъ радіоактивныя постоянныя. Такъ какъ законъ превращенія опредѣляется формулою $N = N_0 e^{-\lambda t}$, то $dN/dt = -\lambda N$. Если установилось радіоактивное равновѣсіе, то число атомовъ, распадающихся въ одну секунду, одинаково для всѣхъ продуктовъ; это заключеніе основывается на допущеніи, что каждый распадающійся атомъ даетъ одинъ атомъ слѣдующаго продукта; такимъ образомъ

$$n = \lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \lambda_3 N_3 = \ldots$$

Значеніе λ обратно-пропорціонально продолжительности времени T, въ теченіе котораго половина даннаго продукта испытываетъ превращеніе; такимъ образомъ продуктъ съ наименьшею скоростью превращенія будетъ собираться въ наибольшемъ количествѣ. Такъ въ случаѣ радія можно показать, что при радіоактивномъ равновѣсіи максимальное число атомовъ эманаціи въ 463000 разъ больше, чѣмъ образующихся въ одну секунду атомовъ. Этотъ результатъ былъ провѣренъ на опытѣ. Даже въ случаѣ очень активнаго продукта, какъ радій, при состояніи равновѣсія количество каждаго продукта весьма невелико: въ одномъ граммѣ чистаго бромистаго радія находится эманаціи не больше 1/100 mgr., а эманаціи-X не болѣе

1/20000 mgr. Пока въ рукахъ изслѣдователей не будетъ бóльшихъ массъ радія, кромѣ эманаціи, ни одного изъ быстро превращающихся продуктовъ радія не удается собрать въ достаточномъ количествѣ для ихъ изслѣдованія обыкновенными химическими способами. Въ случаяхъ торія и урана превращенія совершаются въ милліонъ разъ медленнѣе, чѣмъ у радія, и количества радіоактивныхъ продуктовъ слишкомъ малы, чтобы ихъ можно получить въ вѣсомыхъ количествахъ.

Такъ какъ радій находится въ состояніи непрерывнаго распаденія, сопровождаемаго выбрасываніемъ α-частицъ и образованіемъ новыхъ веществъ, то съ теченіемъ времени данное количество радія исчезаетъ, какъ таковое, и превращается въ неактивное вещество. Вычисленіе показываетъ, что въ теченіе года изъ одного грамма бромистаго радія исчезаетъ около 1/2 mgr. По прошествіи 1500 лѣтъ половина данной массы радія превращается. Если бы сначала вся земля состояла изъ чистаго радія, то чрезъ 30000 лѣтъ его осталось бы лишь милліонная доля, что составляетъ содержаніе хорошихъ сортовъ смоляной руды, находимой теперь. Такъ какъ земная кора гораздо старше, то приходимъ къ заключенію, что радій какимъ-то образомъ непрерывно долженъ образовываться изъ матеріаловъ, находящихся въ землѣ. Если поискать кругомъ элементы, которые могли бы порождать радій, то уранъ и торій представляются наиболѣе подходящими для такой роли, ибо оба удовлетворяютъ необходимымъ для того условіямъ: атомные вѣса ихъ больше атомнаго вѣса радія и оба всегда встрѣчаются въ тѣхъ рудахъ, изъ которыхъ добывается радій; при этомъ оба элемента по сравненію съ радіемъ отличаются продолжительностью существованія; такъ какъ активность урана и торія въ милліонъ разъ меньше активности радія, то продолжительность ихъ существованія въ милліонъ разъ больше, такъ что лишь чрезъ 1500 милліоновъ лѣтъ половина имѣющагося урана превращается. Въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ уранъ представляется наиболѣе вѣроятнымъ элементомъ - родителемъ радія, ибо минералы встрѣчающіеся въ урановой рудѣ, наиболѣе богаты содержаніемъ радія, тогда какъ минералы, встрѣчаемые въ торіевой рудѣ, часто содержатъ очень мало радія.

Окончательное рѣшеніе вопроса предстоитъ еще въ будущемъ. Если радій происходитъ изъ урана, то радій также относится къ урану, какъ эманація радія относится къ радію; съ

однимъ лишь отличіемъ, что радій обладаетъ несравненно большею продолжительностью существованія, чѣмъ его эманація. По истеченіи нѣсколькихъ тысячелѣтій содержаніе радія въ минералѣ достигло бы постояннаго значенія, когда образованіе радія сравнялось бы съ его потерею вслѣдствіе распаденія. По этому взгляду количество радія, находящагося въ данномъ минералѣ, всегда пропорціонально количеству элемента - родителя.

Ясно, что быстро превращающіеся продукты, возникающіе вслѣдствіе распаденія радіоэлементовъ, по причинѣ ограниченной продолжительности своего существованія, никогда не могутъ скопиться въ большихъ количествахъ. Напротивъ того можно ожидать, что всюду, гдѣ встрѣчается радіоактивная матерія, найдется большое количество неактивныхъ продуктовъ, какъ результатъ распаденія въ отдаленныя геологическія эпохи. Но неактивные продукты радіоэлементовъ суть выброшенныя α-частицы и конечные продукты или продукты, которыми оканчиваются радіоактивныя превращенія каждаго элемента. Смоляная руда, въ которой находятъ всѣ радіоэлементы, содержитъ очень много извѣстныхъ элементовъ въ малыхъ количествахъ; присутствіе рѣдкаго газа гелія очень замѣчательно. Гелій встрѣчается только въ сопровожденіи съ радіоактивными минералами и его присутствіе тамъ составляетъ выдающееся обстоятельство. Содди и я высказали гипотезу, что гелій можетъ быть продуктомъ превращенія радія. Эта гипотеза получила подтвержденіе въ измѣреніи массъ α-частицъ, выбрасываемыхъ радіемъ; оказалось, что въ предѣлахъ ошибокъ измѣренія массы этихъ частицъ одинаковы съ массами атомовъ гелія. Другое блестящее подтвержденіе гипотезы было дано новыми опытами Рамзая и Содди, которые нашли, что въ запаянной трубочкѣ, въ которой нѣкоторое время сохранялась эманація радія, всегда появляется гелій. Оказалось, что гелій постольку образуется изъ эманаціи, поскольку послѣдняя распадается и исчезаетъ. Отсюда явилась мысль считать гелій конечнымъ продуктомъ распаденія атомовъ эманаціи; но скорѣе можно думать, что гелій просто образуется выброшенными α-частицами. Если это такъ, то гелій образуется изъ каждаго продукта радія и вѣроятно изъ каждаго радіоэлемента, высылающаго α-лучи. Экспериментальныя трудности подобныхъ изслѣдованій такъ велики, что успѣхи нашихъ познаній неизбѣжно должны быть очень медленны.

Образованіе гелія изъ эманаціи радія составляетъ фактъ

величайшей важности, впервые обнаружившій превращеніе одного элемента въ другой. Процессъ этого превращенія чрезвычайно своеобразенъ, ибо протекаетъ самъ собою и со скоростью, которую мы не въ состояніи измѣнить. Возникновеніе гелія изъ радія старались объяснить по строго химическимъ принципамъ, дѣлая предположеніе, что послѣдній есть не настоящій элементъ, но неустойчивое соединеніе гелія съ извѣстнымъ или неизвѣстнымъ элементомъ, и что съ выдѣленіемъ гелія это соединеніе само-собою распадается. Но теперь мы знаемъ, что это выраженіе „соединеніе“ очень своеобразно въ своихъ свойствахъ, ибо необходимо принять, что оно—въ противоположность всѣмъ другимъ молекулярнымъ соединеніямъ—при распаденіи выбрасываетъ изъ себя съ громадною скоростью заряженныя частицы и что освобождающаяся при этомъ энергія въ милліонъ разъ больше, чѣмъ при какомъ-нибудь другомъ химическомъ превращеніи. Кромѣ того надо принять, что процессъ, при которомъ освобождается гелій, не зависитъ отъ температуры—результатъ, до сихъ поръ не наблюдавшійся ни при какой химической реакціи. Всѣ произведенныя до сихъ поръ наблюденія, говорятъ за то, что радій есть настоящій элементъ въ томъ смыслѣ этого слова, какое ему придаютъ въ химіи. Радій имѣетъ опредѣленный спектръ и атомный вѣсъ; въ химическомъ отношеніи онъ близокъ къ элементу барію. По теоріи превращеній гелій и радіоактивные продукты происходятъ вслѣдствіе распаденія атомовъ, а не молекулъ. Разница двухъ точекъ зрѣнія заключается единственно въ номенклатурѣ. Химическій атомъ опредѣляется, какъ мельчайшая, могущая входить въ соединенія съ другими веществами единица, которая не можетъ быть раздроблена извѣстными намъ физическими и химическими силами. Это, какъ извѣстно, имѣетъ мѣсто въ случаѣ радія, ибо распаденіе атома происходитъ само собою и это распаденіе не можетъ быть ни замедлено, ни ускорено химическими и физическими средствами. Принимая во вниманіе совершенно новый характеръ превращеній, происходящихъ въ радіѣ, и развитіе при этомъ громаднаго количества энергіи, естественнѣе гелій считать результатомъ совершенно новаго рода матеріальнаго превращенія, именно распаденія химическаго атома, а не химической частицы.

Постановка общихъ практическихъ занятій по физикѣ въ Новороссійскомъ Университетѣ.

Б. П. Вейнберга.

Для естественныхъ наукъ лекціонная система преподаванія, если только лекціямъ не сопутствуютъ практическія занятія, почти повсемѣстно признается въ настоящее время устарѣвшею и приносящею мало пользы; даже въ наукахъ соціологическихъ зачастую прибѣгаютъ къ тому же коррективу; иногда раздаются даже голоса за исключительно практическое преподаваніе. Но оба крайнихъ пути врядъ-ли представляютъ тѣ способы преподаванія, которые—при наименьшей затратѣ энергіи и времени преподающими и учащимися — даютъ наибольшее количество и наилучшее качество сообщенныхъ и усвоенныхъ свѣдѣній; и здѣсь, вѣроятно, medio tutissimus ibis.

Если говорить въ частности о физикѣ, то, повидимому, громадное большинство физиковъ стоитъ за соединеніе лекціоннаго и практическаго преподаваній — и не только въ высшей, но и въ средней школѣ. Тѣмъ не менѣе, вѣроятно, многіе изъ работавшихъ практически по физикѣ или руководившихъ этими занятіями въ русскихъ физическихъ лабораторіяхъ сознаютъ, что обычная система веденія этихъ занятій имѣетъ не мало недостатковъ, препятствующихъ полному достиженію тѣхъ трехъ цѣлей, которыя, вообще говоря, должны преслѣдоваться ими, а именно: ознакомленія путемъ собственнаго опыта съ различными физическими явленіями, ознакомленія съ методами опредѣленія физическихъ постоянныхъ и полученія наглядныхъ представленій о физическомъ значеніи этихъ постоянныхъ. Обычная система достиженія этихъ цѣлей, заимствованная изъ практики германскихъ университетовъ, заключается въ томъ, что въ лабораторіи выставляется большое число разнообразныхъ измѣрительныхъ приборовъ, которые оставляются на значительную долю учебнаго времени и на которыхъ практиканты, по очереди, рѣшаютъ тѣ или другія физическія задачи; при этомъ обыкновенно на порядокъ рѣшенія задачъ обращается мало вниманія,

такъ что можетъ случиться, что одинъ практикантъ сегодня опредѣляетъ удѣльный вѣсъ гидростатическимъ взвѣшиваніемъ, а завтра — горизонтальную составляющую земного магнитизма съ помощью абсолютнаго гальванометра, а другой рѣшаетъ эти же задачи въ обратномъ порядкѣ.

Главнѣйшими недостатками этой системы — по крайней мѣрѣ, въ ея крайнихъ проявленіяхъ — являются:

1. *отсутствіе послѣдовательности въ рѣшеніи различныхъ задачъ;*

2. *непроизводительная трата времени руководителей*, которымъ приходится объяснять одно и то же одному—двумъ студентамъ въ каждый день занятій;

3. *оторванность* практическихъ занятій *отъ курса*, читаемаго профессоромъ: на лекціяхъ, — какъ за недостаткомъ времени, такъ и за нежеланіемъ нарушить стройность и систематичность изложенія — многія практическія работы или не упоминаются вовсе, или только упоминаются, и, наоборотъ, многіе изъ опытовъ, демонстрируемыхъ на лекціяхъ, остаются для слушателей только показанными имъ, но не продѣланными ими.

Чтобы ослабить второй изъ перечисленныхъ недостатковъ, во многихъ лабораторіяхъ около прибора находится рукописное, литографированное или печатное объясненіе, при краткости — сводящееся къ рецепту, а при обстоятельности — ведущее къ тому, что изъ небольшого количества времени, которое работающіе проводятъ въ лабораторіи, значительная часть уходитъ на чтеніе этого объясненія. Если даже такія спеціально приспособленныя къ даннымъ приборамъ объясненія находятся въ рукахъ студентовъ въ видѣ литографированныхъ или печатныхъ записокъ, то, какъ показываетъ опытъ, многіе предпочитаютъ знакомиться съ ними около приборовъ, а не предварительно, дома. Нѣсколько лучше обстоитъ дѣло тамъ, гдѣ читаются спеціальные объяснительные курсы, но тогда выполненіе работы зачастую отдѣлено слишкомъ большимъ промежуткомъ времени отъ ея объясненія.

Чтобы уменьшить непроизводительную трату времени на объясненія и на ихъ усвоеніе и чтобы внести систему въ порядокъ рѣшенія задачъ, въ кэмбриджскомъ университетѣ, для медиковъ (проф. Дж. Дж. Томсонъ), и на Cours préparatoires pour les études physiques, chimiques et naturelles въ Парижѣ (проф. Круш-

коль) принята [1]) иная система: пускается одновременно очень ограниченное число различныхъ задачъ, но въ возможно большомъ числѣ экземпляровъ, и приборы эти, по рѣшеніи задачи всѣми группами практикантовъ, смѣняются другими. При этомъ у Дж. Дж. Томсона предъ началомъ занятій ассистентъ тутъ же въ лабораторіи читаетъ родъ краткой объяснительной лекціи

Такая система требуетъ обладанія значительнымъ числомъ одинаковыхъ приборовъ, что, при ограниченныхъ средствахъ русскихъ физическихъ институтовъ, возможно лишь при дешевизнѣ этихъ приборовъ [2]). Послѣ долгихъ поисковъ и пробныхъ покупокъ по одному экземпляру, мы остановились на слѣдующихъ приборахъ:

1. Вѣсы — отъ L. Reimann, Berlin, S. O., Schmidstr., 32, — № 1407, цѣна — 36 марокъ; при нагрузкахъ граммовъ до 15 даютъ полумиллиграммы и могутъ служить и какъ обыкновенные вѣсы, и какъ вѣсы для гидростатическаго взвѣшиванія, и какъ вѣсы Мора.

2. Штангенъ-циркули (№ 67, 5 мар.) и толстомѣры (№ 74 6 мар.) — отъ Leppin & Masche, Berlin, S. O., Engel-Ufer, 17.

3. Оптическія скамейки — изъ деревяной доски, укрѣпленной на двухъ /‾\-образныхъ желѣзныхъ ножкахъ и снабженной линейкою съ салазочками по Квинке (ZS. f. phys. chem. Unterr. 5 (1892) S. 116—119) своей работы; тѣ же скамейки служатъ для изученія прогиба со свободными концами.

4. Объектъ-микрометры (№ 26^a—10 мар. и № 26^b—6 мар.) — отъ K. Zeiss (Jena); служатъ для опредѣленія увеличенія микроскопа, причемъ вмѣсто рисовальныхъ призмъ мы пользуемся стеклянною пластинкою подъ угломъ въ 45^0.

5. Термометры — отъ Paul Altmann (Berlin, N. W., Luisenstr., 47) отъ $+4^0$ до $+30^0$, дѣленные на $0{\cdot}2^0$, не вывѣренные — цѣна 2 м. 50 пф. (по особому заказу, „wie № 2557").

---

[1]) То же введено въ University of Minnesota въ Миннеаполисѣ и въ University College въ Лондонѣ, т. е. всего въ 4 изъ 156 лабораторій, относительно которыхъ у меня имѣются эти свѣдѣнія, (см. мою статью „L'enseignement pratique de la physique dans 206 laboratoires de l'Europe, de l'Amérique et de l'Australie" Зап. И. Нов. Унив., 90 (1903) 1—126).

[2]) Замѣчу, впрочемъ, что въ Кэмбриджѣ большинство приборовъ тоже довольно просты и дешевы; см. каталогъ W. G. Pye, Cambridge, St. Andrew's Street, 30, и книжку Wilberforce & Fitzpatrick, „Laboraty Note-book".

6. Гальванометры — отъ Elliott Brothers (London, W. C., 101 & 102, St. Martin's Lane) № 146a, цѣна 3 фунта; типа Д'Арсонваля, въ закрытомъ, привѣшиваемомъ на стѣну ящикѣ, съ зеркальцемъ (плоскимъ или вогнутымъ, по желанію) и со стрѣлочнымъ указателемъ; чувствительность 1—2. 10^{-6} amp. на 1^0 отклоненія указателя.

7. Ящичные мостики Уитстона отъ Harvey & Peak (London, W. C., Charing Cross Road, 56) „Cheap Resistance Box with bridge", — 3 ф. 10 шил.; неважной работы, но для обученія методу—достаточны.

8. Линейные мостики Уитстона — отъ Leppin & Masche, — № 48; цѣна 20 марокъ.

9. Амперметры — отъ Keiser & Schmidt (Berlin, N., Johannistr., 20), № 285; цѣна 14 марокъ.

10. Алюминіевые стаканы для опредѣленія точки росы (Aluminium dew point vessel with stirrer) отъ Pye, 2 шил.

Благодаря такой дешевизнѣ (при сравнительной доброкачественности) этихъ приборовъ мы, присоединяя также другіе, имѣющіеся въ физическомъ институтѣ болѣе дорогіе экземпляры, имѣемъ возможность, допуская въ лабораторію группу въ 40 студентовъ, ставить либо одну задачу въ 20 экземплярахъ, либо двѣ задачи, въ 10 экземплярахъ каждую. Такая система, введенная нами при обязательныхъ практическихъ занятіяхъ медиковъ и фармацевтовъ, оказалась, какъ можно судить по кратковременному пока опыту, сберегающею много времени и у практикантовъ и у руководителей. Давая предъ началомъ занятій краткія общія поясненія, мы имѣемъ возможность посвящать остальное время болѣе детальнымъ и болѣе индивидуальнымъ указаніямъ.

Чтобы практическія занятія являлись подспорьемъ читаемымъ курсамъ и чтобы преподаваніе имѣло болѣе экспериментальный характеръ, мы стремимся къ тому, чтобы каждый изъ читаемыхъ курсовъ опытной физики сопровождался практическими занятіями *по этому курсу.* Такія занятія — необязательныя для математиковъ и естественниковъ 1-го курса, — идутъ параллельно съ курсомъ и даютъ возможность желающимъ продѣлать самимъ — тщательнѣе, чѣмъ это дѣлается въ аудиторіи — любой (за малыми исключеніями) изъ тѣхъ опытовъ, которые производятся или даже лишь упоминаются на лекціяхъ. Для достиженія этой цѣли комплектъ выставленныхъ задачъ обновляется, час-

тично, каждую недѣлю соотвѣтственно послѣднимъ прочитаннымъ лекціямъ, отдѣльныя же задачи ставятся въ нѣсколькихъ экземплярахъ и обставляются, по большей части, возможно просто, чтобы вниманіе работающихъ обращалось на самую суть метода или на физическій смыслъ той или другой постоянной, а не на тонкости самыхъ измѣреній. Этимъ самымъ достигается возможность придавать остальнымъ практическимъ занятіямъ (обязательнымъ для математиковъ 2-го и 4-го курсовъ) характеръ болѣе основательнаго ознакомленія съ измѣрительными приборами и съ методами измѣреній, оставляя при этомъ въ сторонѣ знакомство съ различными физическими явленіями и постоянными.

Чтобы еще болѣе выяснить характеръ такихъ занятій *по курсу*, приведу списокъ работъ по упругости твердыхъ тѣлъ, составляющихъ часть пускаемыхъ у насъ работъ по курсу физики частичныхъ силъ, съ краткимъ указаніемъ примѣняемыхъ „приборовъ". Опишу также нѣсколько подробнѣе тотъ изъ этихъ приборовъ, который скомбинированъ мною для ознакомленія съ главнѣйшими постоянными теоріи упругости на одномъ и томъ же тѣлѣ.

Списокъ работъ по теоріи упругости.

1. Изученіе и графическое изображеніе зависимости величины деформаціи отъ величины дѣйствующей силы и изученіе при этомъ различныхъ типовъ деформацій на различныхъ, ниже упоминаемыхъ приборахъ.

2. Опредѣленіе модуля Юнга E изъ растяженія: длина растягиваемыхъ тѣлъ измѣряется дѣленною на миллиметры лентою (клеенчатою — свободною или набитою на рейку), а поперечные размѣры — толстомѣромъ; примѣняются резиновыя нити квадратнаго сѣченія (растяженіе измѣряется тою же лентою) и стальныя проволоки (растяженіе измѣряется для вертикальныхъ проволокъ при помощиноніуса и линейки, прикрѣпленныхъ къ двумъ параллельнымъ проволокамъ, а для горизонтальной — по пониженію средней точки, къ которой привѣшиваются растягивающіе грузы).

3. Вычисленіе модуля Юнга изъ модуля прогиба: деревяные стержни накладываются на поперечины ножекъ оптическихъ скамеекъ (см. выше) и пониженіе средины измѣряется прикрѣпленною къ скамейкѣ миллиметровою линеечкою; пускается также прогибъ съ закрѣпленными концами и изгибъ деревянныхъ стерж-

ней и прогибъ металлическихъ стержней — съ зеркальнымъ отчетомъ по Кёнигу.

4. Опредѣленіе модуля сдвига, N, резины — на описанномъ ниже приборѣ.

5. Вычисленіе модуля сдвига изъ модуля крученія, опредѣляемаго статически или динамически: а) статически, для стальныхъ стержней — на приборѣ Вертгейма, для стальныхъ проволокъ — изъ угла поворота диска, закрѣпленнаго по ихъ срединѣ (упрощенный приборъ Лермонтова), для резины — на описанномъ ниже приборѣ; б) динамически, для стальныхъ проволокъ — изъ періода колебаній привѣшиваемыхъ къ нимъ плоскихъ или длинныхъ металлическихъ цилиндровъ (моментомъ инерціи соединительной части пренебрегаемъ), для резины — на описанномъ ниже приборѣ.

6. Опредѣленіе коэффиціента Пуассона, σ — изъ непосредственныхъ измѣреній продольныхъ или поперечныхъ размѣровъ тѣла до и послѣ сжатія (резиновая и корковая пробка, сжимаемая тисками) или растяженія (широкая резиновая лента, растягиваемая грузомъ, или полоса квадратнаго сѣченія въ описываемомъ ниже приборѣ).

7. Вычисленіе коэффиціента Пуассона изъ модуля Юнга и модуля сдвига по формулѣ

$$N = \frac{E}{2(1+\sigma)} \tag{1}$$

на основаніи предыдущихъ опредѣленій N и E для стали и для резины; сопоставленіе для послѣдней этого значенія σ со значеніемъ, полученнымъ непосредственно.

8. Изученіе явленій упругаго послѣдствія—на растягиваемыхъ резиновыхъ нитяхъ и полосахъ.

9. Опредѣленіе коэффиціента внутренняго тренія: для вара—изъ быстроты измѣненія угла сдвига куска вара, имѣющаго форму прямоугольнаго параллелипипеда и подвергаемаго сдвигу аналогично резинѣ въ описываемомъ ниже приборѣ; для свинца — изъ быстроты измѣненія угла крученія свинцоваго стержня или трубки подъ дѣйствіемъ постояннаго момента силы.

10. Изученіе текучести твердыхъ тѣлъ — повтореніе опыта Треска надъ продавливаніемъ свинцовыхъ капель при помощи насоса Кальете или просто стуловыхъ тисковъ.

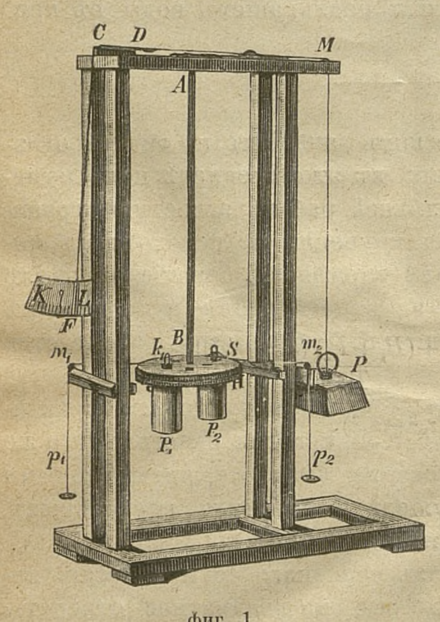
11. Опредѣленіе предѣла пластичности при растяженіи: проволоки — мѣдныя и стальныя — разрываются или руками чрезъ посредство динамометра, или подливаніемъ воды въ привѣшенное на нихъ ведро.

Обыкновенно при практическихъ занятіяхъ по физикѣ ограничиваются работами, указанными въ этомъ спискѣ подъ нумерами 2, 3 и 5, причемъ въ послѣдней работѣ зачастую ограничиваются опредѣленіемъ модуля крученія, не переходя къ модулю сдвига. При такомъ составѣ упражненій понятіе о модулѣ сдвига является отодвинутымъ на второй планъ и лишеннымъ реальнаго значенія, а понятіе о коэффиціентѣ Пуассона остается совершенно въ сторонѣ.

Чтобы устранить эти пробѣлы и дать возможность практикантамъ *непосредственно измѣрить* E, N и σ для одного и того же матеріала и *ознакомиться съ косвенными методами*, примѣняемыми обыкновенно для опредѣленія послѣднихъ двухъ постоянныхъ, я устроилъ приборъ, изображенный на фиг. 1.

Приборъ этотъ состоитъ изъ солиднаго четырехногаго деревяннаго штатива (высота—150 cm.), въ квадратное отверстіе верхней доски котораго пропущена четырехгранная полоса резины AB, имѣющій размѣры — $1{\cdot}8 \times 1{\cdot}8 \times 85$ cm.; она отрѣзана въ поперечномъ направленіи отъ наиболѣе толстаго существующаго въ продажѣ резиноваго полотна. Для того, чтобы эта полоса не могла вырваться при нагрузкѣ, отверстіе сужено книзу, а верхній конецъ резиновой полосы надрѣзанъ накрестъ и въ него на клею загнаны четыре клина. Нижній конецъ резиновой полосы пропущенъ въ такое же (обращенное раструбомъ внизъ) отверстіе въ центрѣ горизонтальнаго деревяннаго диска GH (30 cm. діаметромъ и 3 cm. высотою) и закрѣпленъ въ немъ такъ же, какъ верхній конецъ въ отверстіи верхней доски штатива. Дискъ этотъ имѣетъ на боковой поверхности бороздку и въ немъ по двумъ перпендикулярнымъ діаметрамъ просверлено на разстояніяхъ 6 cm. и 12 cm. отъ центра по два отверстія, сквозь которыя можно пропускать винты чугунныхъ гирь P_1 и P_2 (около 6 kgr. каждое), закрѣпляемые сверху чайками k_1 и k_2. По бороздкѣ диска проходятъ ниточки, перекинутыя чрезъ блоки m_1 и m_2 и снабженныя чашечками p_1 и p_2 для грузовъ (въ нѣсколько граммовъ каждый). На дискъ наклеенъ сверху бумажный, раздѣленный на градусы лимбъ, даю-

щій, вмѣстѣ съ указателемъ S, возможность опредѣлять углы поворота диска при томъ или другомъ моментѣ закручивающей силы.



фиг. 1.

Такъ какъ резиновое полотно имѣетъ въ ширину около метра, то отъ его поперечнаго отрѣзка остается еще кусокъ CD, который боковою гранью приклеивается на столярномъ клею съ краю верхней доски штатива. Къ верхней грани этого куска приклеивается дощечка съ отверстіемъ, къ которому привязывается веревка, перекинутая чрезъ блокъ M и нагружаемая грузомъ P (10 или 20 kgr.). Къ боковой лѣвой грани этого куска резины прикрѣпленъ тонкій деревянный указатель CF, конецъ котораго перемѣщается вдоль шкалы KL.

Для опредѣленія модуля Юнга и коэффиціента Пуассона измѣряютъ (мѣрною лентою) длину l_0 и (толстомѣромъ) поперечные размѣры a_0 и b_0 резиновой полосы, когда къ диску GH не привѣшены гири, и ихъ значенія l_1, a_1 и b_1, когда къ диску привѣшены гири P_1 и P_2. Тогда

$$(2)\quad E = \frac{P_1+P_2}{a_1 b_1} : \frac{l_1-l_0}{l_0} \frac{\text{kgr.}}{\text{cm.}^2};\ \sigma = \frac{a_0-a_1}{a_0} : \frac{l_1-l_0}{l_0} = \frac{b_0-b_1}{b_0} : \frac{l_1-l_0}{l_0}.$$

Для опредѣленія модуля сдвига къ веревкѣ, перекинутой чрезъ блокъ M, привѣшиваютъ грузъ P и измѣряютъ перемѣщеніе λ конца F указателя CF. Если длина этого указателя есть L, а длина и ширина куска резины будутъ l и d, то

$$(3)\qquad N = \frac{P}{ld} : \frac{\lambda}{L} \frac{\text{kgr.}}{\text{cm.}^2}$$

Для вычисленія модуля сдвига изъ модуля крученія C опредѣляютъ послѣдній

а) статически: къ нитямъ, перекинутымъ чрезъ блоки m_1 и m_2, привѣшиваютъ по грузу p и измѣряютъ уголъ φ поворота диска GH; если радіусъ диска есть R, то

$$C' = 2pR : \frac{2\pi}{360} \varphi \text{ kgr. cm.}; \tag{4}$$

б) динамически: опредѣляютъ періодъ колебанія диска, T_1, когда винты гирь P_1 и P_2 пропущены сквозь отверстія, находящіяся на разстояніи z_1 отъ оси, и періодъ его колебанія, T_2, когда эти винты пропущены сквозь отверстія на разстояніи z_2; тогда, если обозначимъ чрезъ K моментъ инерціи гирь и диска въ первомъ случаѣ, будемъ имѣть

$$C'' = \frac{4\pi^2 K}{T_1^2} 10^3 \text{ dn. cm.} = \frac{4\pi^2 [K + (P_1 + P_2)(z_2^2 - z_1^2)]}{T_2^2} 10^3 \text{ dn. cm.} =$$
$$= \frac{4\pi^2 (P_1 + P_2)(z_2^2 - z_1^2)}{g(T_2^2 - T_1^2)} \text{ kgr. cm.} \tag{5}$$

Изъ значеній C' и C'' модуля крученія вычисляемъ еще два значенія, N' и N'', модуля сдвига кромѣ значенія (3), а именно

$$N' = \frac{12\, l}{a_1 b_1 (a_1^2 + b_1^2)} C' \frac{\text{kgr.}}{\text{cm.}^2};\quad N'' = \frac{12\, l}{a_1 b_1 (a_1^2 + b_1^2)} C'' \frac{\text{kgr.}}{\text{cm.}^2} \tag{6}$$

Вставляя среднее изъ значеній N (3), N' и N'' (6) и значеніе E (2) въ формулу (1), получаемъ косвеннымъ путемъ новое значеніе σ' коэффиціента Пуассона, которое и сопоставляемъ со значеніемъ σ (2), полученнымъ непосредственно.

Для сѣрой и черной резины получены были на практическихъ занятіяхъ, слѣдующія значенія:

$$\left.\begin{array}{l} E = 27{\cdot}7,\ \sigma = 0{\cdot}48,\ N = 9{\cdot}0,\ N' = 9{\cdot}0,\ N'' = 13{\cdot}0,\ \sigma' = 0{\cdot}34 \\ E = 27{\cdot}1,\ \sigma = 0{\cdot}45,\ N = 11{\cdot}9,\ N' = 12{\cdot}0,\ N'' = 9{\cdot}4,\ \sigma' = 0{\cdot}23 \end{array}\right\} \tag{7}.$$

Такое согласіе значеній N и σ можно признать достаточнымъ, если принять во вниманіе незначительную точность того большого числа измѣреній, которое приходится сдѣлать, непримѣнимость закона Гука при тѣхъ значительныхъ деформаціяхъ, которыя здѣсь происходятъ, и, въ особенности, большое вліяніе упругаго послѣдствія.

Одесса. Ноябрь 1904.

Физическій кабинетъ.

1) *Полюсы магнита.* Намагнитить тонкую стальную полоску (часовую пружину въ 20 или 30 cm. длины и 1 cm. ширины); къ одному изъ концовъ приложить кусочекъ желѣза, который прилипнетъ. Если же теперь полоску согнуть такъ, чтобы второй конецъ прикасался къ первому, то кусочекъ желѣза тотчасъ же отпадетъ; слѣдовательно полюсы магнита одинаково сильны и противоположны.

2) *Подпорка для магнитной стрѣлки и т. п.* Ламповый цилиндръ закрывается сверху пробкою, въ которую снизу вставленъ и приклеенъ стальной наперстокъ, который надѣвается на остріе иголки, укрѣпленной на верху вертикальнаго стержня; на верхней сторонѣ пробки сдѣлано поперечное углубленіе. Если въ это углубленіе положить намагниченную вязальную спицу, то цилиндръ легко вращается около вертикальной оси и спица располагается въ магнитномъ меридіанѣ. Вмѣсто магнита на пробку можно положить наэлектризованную стеклянную трубку.
(*F. F. Schreiber*, Physik. Experimentier-u. Lese-Buch.).

3) *Опредѣленіе вѣса одного куб. центиметра воздуха.* Колба въ 2 или 3 литра емкости запирается пробкою, чрезъ которую проходитъ стеклянная трубка съ краномъ. Колба (при открытомъ кранѣ) тарируется на вѣсахъ. Колбу снимаютъ съ вѣсовъ и воздухъ изъ нея высасываютъ ртомъ; закрывая кранъ послѣ высасыванія и повторяя его нѣсколько разъ, можно достичь значительнаго разрѣженія. Затѣмъ колбу опять ставятъ на вѣсы, которые снова уравновѣшиваютъ грузами (около 1 gr.), которые показываютъ вѣсъ воздуха, удаленнаго изъ колбы. Послѣ этого колбу снимаютъ съ вѣсовъ; опрокинувъ, кончикъ трубки погружаютъ въ воду и открываютъ кранъ, при чемъ въ колбу входитъ столько воды, что оставшійся воздухъ принимаетъ упругость равную атмосферы. Объемъ вошедшей воды равенъ объему высасаннаго воздуха; отношеніе вѣса этого воздуха къ вѣсу вошедшей воды даетъ вѣсъ одного кубическаго центиметра воздуха при атмосферномъ давленіи.

(ZS. f. phys. Unterr. XVI).

